

**MEDICION DE DEFORMACIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE GALGAS
EXTENSIOMETRICAS**

**OMAR JAVIER PIMIENTA QUINTERO
JUAN CARLOS CALDERON ESPINAL**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

**MEDICION DE DEFORMACIONES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE GALGAS
EXTENSIOMETRICAS.**

OMAR JAVIER PIMIENTA QUINTERO

JUAN CARLOS CALDERON ESPINAL

**Proyecto de grado para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO**

DIRECTOR:

ROLANDO GUZMAN LOPEZ

Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 16 de marzo 2015

DEDICATORIA

Principalmente damos Gracias a **DIOS** por darme la oportunidad de iniciar y terminar un estudio superior, también con el apoyo económico y la confianza que día a día depositaron en mí con la fuerza de mi padre y la humildad de mi madre.

A mi padre **LUIS ALONSO PIMIENTA PEREZ** por apoyarme incondicionalmente y darme la confianza para siempre solucionar los problemas que se presentaron en el transcurso de mis estudios profesionales.

A mi madre **ALMA LUCELLY QUINTERO PEÑA** por su amor, paciencia y apoyo en el transcurso de todo este largo camino de sacrificios, no perder la confianza en mí y siempre darme alientos de fuerza para continuar con la calidez que la caracteriza.

A mi hermano **FABIAN ALONSO PIMIENTA QUINTERO** por ser mi compañía durante gran parte de mis estudios, por hacer que todos los días pudiéramos reír y ayudarnos mutuamente, aprender uno del otro.

A **ROLANDO GUZMAN LOPEZ** por brindarnos la confianza y las herramientas apropiadas para iniciar y terminar un proyecto tan importante para mí, y que será herramienta para futuros estudiantes de la universidad.

OMAR JAVIER PIMIENTA QUINTERO

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a Dios, porque es el motor que mueve mis acciones y me da fuerza para continuar todos los días.

A mis padres **JUAN CARLOS CALDERON HERNANDEZ** y **SILVIA MARIA ESPINAL ORREGO** porque ellos siempre confiaron y creyeron en mi y mis capacidades, porque me apoyaron cuando nadie mas lo hizo y porque trataron siempre de darme lo mejor en lo que se pudiera. Mil gracias a ellos porque todo mi esfuerzo y ganas de siempre superarme se lo debo a ellos y la educación con las que me formaron a mi y mis hermanos, siempre serán lo mejor en mi vida.

A mis hermanos **JHON ALEXANDER CALDERON ESPINAL** y **ERIKA TATIANA CALDERON ESPINAL** porque me ayudaron y me brindaron ayuda cuando mas lo necesitaba, porque junto a ellos aprendí que la vida es dura pero cuando se alcanza un objetivo se da a conocer que lo que uno quiere lo puede conseguir pero solo con trabajo duro.

Al ingeniero **ROLANDO GUZMAN LOPEZ** porque nos ayudo a buscar las herramientas para continuar con el proyecto y porque nos brindo la información necesaria para resolver las dudas que se iban presentando durante el tiempo de trabajo.

JUAN CARLOS CALDERON ESPINAL

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradecer a la institución por darnos los conocimientos fundamentales para nuestra carrera profesional y enseñarnos el sentido humano aprendiendo la tolerancia y respeto con los demás. Al ingeniero Rolando Guzmán por apoyarnos y darnos las herramientas necesarias y darnos una mano amiga en las dudas que surgieron.

Omar Javier Pimienta Quintero

Juan Carlos Calderon Espinal

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	18
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. JUSTIFICACION	21
5. MARCO TEORICO	22
5.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELASTICIDAD	22
5.1.1. Módulo de elasticidad [$E=\sigma/\epsilon$].	23
5.1.2. Esfuerzo.	23
5.1.3. Deformación.	23
5.1.4. Ley de Hooke.	23
5.1.5. La fuerza y su medida.	24
5.2 FLEXIÓN	24
5.2.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.	25
5.2.2 Método grafico para construir diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.	27
5.2.3 La fórmula de la flexión.	32
5.2.4 Flexión asimétrica.	38
5.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN EXTENSÓMETRO ELÉCTRICO DE RESISTENCIA	45
5.4 TIPOS DE EXTENSÓMETROS ELÉCTRICOS	46
5.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BANDAS EXTENSIOMÉTRICAS	52
5.5.1 Ancho y longitud de la galga.	53
5.5.2 Resistencia de la galga.	53
5.5.3 Factor de la galga.	54
5.5.4 Histéresis.	54

5.5.5 Material del elemento sensible de la galga.	55
5.5.6 Material de la matriz portadora.	55
5.5.7 Fluencia.	56
5.5.8 Deformación máxima.	57
5.5.9 Comportamiento a la fatiga.	57
5.5.10 Sensibilidad transversal.	58
5.5.11 Estabilidad.	58
5.5.12 Influencia de la temperatura.	58
5.5.13 Disipación de calor.	58
5.6 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LAS GALGAS EXTENSIOMÉTRICA	59
5.7 TRANSDUCTORES	59
5.7.1 Características de los transductores.	61
5.7.2 Acondicionamiento de la señal.	61
5.8 CIRCUITOS DE MEDIDA	62
5.8.1 Montaje en $\frac{1}{4}$ de puente.	64
6. PROCEDIMIENTO PARA EL PEGADO DE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS	66
6.1 INTRODUCCIÓN	66
6.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE	67
6.3 LIMPIEZA BURDA	67
6.4 SUAVIZAR LA SUPERFICIE	67
6.5 ELIMINAR GRASAS	67
6.6 LIJADO	68
6.7 LIMPIEZA FINA	68
6.8 MARCAR LA SUPERFICIE	69
6.9 ALCALINIDAD ÓPTIMA	69
6.10 ADHESIÓN DE LAS GALGAS	69
6.10.1 Posicionamiento de la galga.	69
6.10.2 Alineación de la galga.	70
6.10.3 Preparación final.	71
6.10.4 Aplicación del adhesivo.	71

6.10.5 Adhesión.	72
6.10.6 Aplicación de presión.	73
6.10.7 Retirar la cinta.	73
6.11 PROCEDIMIENTOS PARA SOLDAR	74
6.11.1 herramienta y técnica para soldar.	74
6.11.2 Procedimiento para soldar.	75
6.12 RECUBRIMIENTOS DE PROTECCIÓN	76
6.13 COMPROBACIÓN DEL MONTAJE DE LA GALGA	77
7. GUIA DE USO DEL EQUIPO DE MEDICION	78
7.1 DP-41B	78
7.1.1 Descripción.	78
7.1.2 Pantalla a color programable.	79
7.1.3 Entradas universales.	79
7.1.4 Características.	81
7.1.5 Partes del medidor.	82
7.1.6 Vista Posterior del medidor.	83
7.1.7 Métodos para escalar el medidor para visualizador en unidades de ingeniería.	84
7.1.8 Configuración de puentes.	84
7.1.9 Calibración mediante la simulación de una carga conocida.	86
7.1.10 Calibración mediante la simulación de una carga conocida.	88
8. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDACTICO	90
8.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	90
8.1.1 Gato hidráulico (PTPHB-210).	91
8.1.2 Perfil tipo C o tipo U.	92
8.2 DISEÑO PRELIMINAR	94
9. MODELOS	95
9.1 MODELO ANALÍTICO	95
9.1.1 Cálculo analítico de las deformaciones.	95
9.2 MODELO EXPERIMENTAL	100

9.2.1 Presión.	100
9.2.2 Fuerza.	101
9.2.3 Voltaje.	101
9.2.4 Deformación.	101
9.3 TABLAS DE RESULTADOS	102
10. CONCLUSIONES	106
11. RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFIA	108
ANEXOS	109

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Material del elemento sensible de la galga.	55
Tabla 2. Material de la matriz portadora.	56
Tabla 3. Transductores equipados con galgas extensiométricas.	60
Tabla 4. Tiempos de secados mínimos.	66
Tabla 5. Detalle de los componentes del medidor	83
Tabla 6. Configuración de la interfaz.	87
Tabla 7. Materiales utilizados en la construcción y montaje del banco didáctico.	91
Tabla 8. Dimensiones de la bomba.	92
Tabla 9. Dimensiones del fabricante	92
Tabla 10. Dimensiones del perfil.	93
Tabla 11. Propiedades elásticas.	93
Tabla 12. Valores de presión.	100
Tabla 13. Datos analíticos.	102
Tabla 14. Resultados de compresión experimental	103
Tabla 15. Resultados de tensión experimental	103
Tabla 16. Señales en voltios y ganancia	103

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Curva de deformación vs # pruebas Teóricos	104
Grafica 2. Deformación vs # pruebas a compresión	104
Grafica 3. Deformación vs # pruebas a compresión	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Viga afectada por carga puntual y distribuida	28
Figura 2. Diagrama de cuerpo libre Δx .	28
Figura 3. Diagramas momentos y cortantes.	30
Figura 4. Diagrama de cuerpo libre (Δx).	33
Figura 5. Variación de la deformación unitaria y el esfuerzo de flexión.	34
Figura 6. Variación del esfuerzo de flexión.	35
Figura 7 Secciones T y en canal.	38
Figura 8. Distribución de la fuerza y el esfuerzo.	40
Figura 9. Ejes principales dependiendo de la sección transversal	41
Figura 10. Secciones transversales sometidas al momento M.	43
Figura 11. Disposición de la carga según el eje neutro. (M_z , M_y)	43
Figura 12. <i>Composición de una galga extensiométrica.</i>	47
Figura 13. Esquema de la galga extensiométrica	49
Figura 14. Tipos de configuración de una galga extensiométrica.	51
Figura 15. Construcción de una galga extensiométrica.	53
Figura 16. Histéresis ($\Delta R/R$ vs ϵ).	54
Figura 17. Puente Wheatstone.	63
Figura 18. Configuración de $\frac{1}{4}$ de puente.	65
Figura 19 $\frac{1}{4}$ de puente Wheatstone en el montaje.	65
Figura 20. Posicionamiento de la galga en la probeta.	70
Figura 21. Alineación de la galga en la probeta.	70
Figura 22. Disposición de la galga antes de aplicar el adhesivo.	71
Figura 23. Aplicación de adhesivo.	72
Figura 24. Adhesión de la galga en la probeta.	72
Figura 25. Aplicación de presión y calor.	73
Figura 26. Retirar la cinta de la galga.	74
Figura 27. Consideraciones del cautín.	74
Figura 28. Protección adicional a la galga antes de soldar.	75
Figura 29. Forma ideal del montículo de soldadura.	76
Figura 30. Protección de la galga extensiométrica.	77
Figura 31. Configuración de colores del display.	82
Figura 32. Vista frontal del equipo.	82
Figura 33. Conectores del equipo.	84
Figura 34. Módulos de puentes.	85
Figura 35. Configuración de puentes (Jumpers).	85
Figura 36. Cableado del sensor al medidor.	86

Figura 37. Ensamblaje en SolidWorks.	94
Figura 38. Ensamblaje en SolidWorks vista frontal.	94
Figura 39. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 1.	97
Figura 40. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 2.	98
Figura 41. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 3.	98
Figura 42. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 4.	99
Figura 43. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 5.	99

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Plano	109
Anexo B. Fotos Banco Didactico	110
Anexo C. Escala de Deformación	113

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: MEDICION DE DEFORMACIONES MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE GALGAS EXTENSIOMETRICAS

AUTOR(ES): OMAR JAVIER PIMIENTA QUINTERO
JUAN CARLOS CALDERON ESPINAL

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): ROLANDO GUZMAN LOPEZ

RESUMEN

Hoy en día la selección de un material no es el único parámetro a tener en cuenta para la fabricación de elementos mecánicos estructurales o en servicio activo, lograr un control sobre las deformaciones que se generan por aplicación de fuerzas y lograr que el elemento cumpla con la función para la cual fue diseñado tiene la misma o mayor importancia. La Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana tiene los recursos a la disposición de los estudiantes para desarrollar prácticas en las cuales se someten diversos materiales llevándolos hasta su fractura pero sin poder determinar la deformación que está ocurriendo en la estructura o elemento en servicio. El estudio tiene temas como la aplicación de galgas extensiométricas (transductores eléctricos) lo cual se logra calcular esfuerzos del elemento por medio de la deformación de la galga que se encuentra adherida, lo que logramos que la galga tenga un cambio en su resistencia eléctrica lo cual dará una señal eléctrica la cual podremos convertir y obtener resultado. Diseñar y construir un sistema el cual podrá aplicar la carga y lograr que la deformación se desarrolle teniendo en cuenta que se trabajara sobre el régimen elástico del material, este sistema dado por cálculos para asegurar que las fuerzas aplicadas no deformen el material usado en el sistema. Entender los diferentes manuales y explicarlos de forma tal que los estudiantes pueden hacer prácticas sabiendo cómo usar los equipos, programándolos y desarrollando el pegado de las probetas para la práctica.

PALABRAS CLAVES:

Fuerza, Galga extensiométrica, flexión, Deformación, Ingeniería Mecánica

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: MEASUREMENT OF DEFORMATIONS THROUGH THE APPLICATION OF STRAIN GAUGES.

AUTHOR(S): Omar Javier Pimienta Quintero
Juan Carlos Calderon Espinal

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Rolando Guzman Lopez

ABSTRACT

Today the selection of the material is not the only parameter to consider for the manufacture of structural mechanical elements, achieve control over all the deformations generated by the application of forces and make the element fulfills the function for which it was designed has the same or even greater importance. The mechanical engineer faculty of the Pontificia Bolivariana University has the resources available for the students who want to develop practices in which different materials are submitted, taking them until the fracture but it is unable to determinate the occurring deformation in the structure. The study has themes such as the applications of strain gauges (electric transducers), which can calculate the strains of the element using the deformation of the adhered gauge, the gauge resistance changes giving a differential, with this we can convert the signal and get a result. Design and build a system which may apply the load and make the deformation takes place on the elastic regime of the material, ensuring that the applied forces do not deform the material used in the system. The development of a methodology for the application of strain gauges that can make a real analysis of the deformation of a structural element, the student of the mechanical engineer faculty can check the theoretical and practical values for a reasoning about the effects that can occur in the deformation of the mechanical instruments. Understand and explain the different manuals so that students can do practices, knowing how to use the equipment, programming and developing the good bond in the gauge.

KEYWORDS:

Force, mechanical engineer, strain gauges, Deformation, Flexion

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

En el análisis de tensiones mecánicas está relacionado con la distribución de esfuerzos en materiales en muchas formas y teniendo en cuenta diferentes condiciones de fuerza. Los esfuerzos producen unas deformaciones del medio al cual se aplican y la relación entre las magnitudes de esfuerzo y deformación puede ser explicada por la teoría de resistencia de materiales o el cálculo de estructuras. El uso de transductores de deformación se denominan extensómetros o galgas de deformación; y se usan de forma más seguida la que se llama galga extensiométrica resistiva, que es la que se pega sobre una superficie de la estructura a la cual se le va a someter una carga y la cual se deformara junto con la galga extensiométrica y debido a sus pequeñas dimensiones ya sean en mm a cm según los modelos, se pueden realizar medidas cuasipuntuales.

Se estudiarán los transductores tipo galga extensiométrica, su constitución y clasificación. También se analizarán los circuitos de medida, que básicamente son puentes wheatstone en sus diversas variedades para evitar los errores debidos a las magnitudes de influencia.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con equipos para lograr una investigación sobre la aplicación de galgas extensiométricas, pero no se cuenta con una teoría clara donde el estudiante pueda hacer una práctica en el laboratorio de resistencia de materiales donde le permita desarrollar el criterio propio acerca de la deformación y esfuerzos que están ocurriendo de un material al cual se le está aplicando carga transversal. Diseñar, construir y calibrar el equipo de medición como también estructurar una guía completa sobre el uso y pegado de las galgas son los problemas a resolver.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar el banco de ensayos del laboratorio de resistencia de materiales para la medición de deformaciones y esfuerzos en elementos estructurales de viga tipo i.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un manual de operaciones del equipo dp-41b de la marca omega aplicando los esquemas para la medición de deformaciones utilizando el manual de operaciones del fabricante.

Resultado: Tener el manual de operación para su calibración y manejo

Indicador: Por medio de la investigación sobre componentes del sistema de galgas extensiométricas y manual del fabricante tanto de las bandas como transductor.

- Diseñar y construir el banco de ensayos de deflexión para la validación de las medidas experimentales de deformación.

Resultado: banco de ensayo.

Indicador: Se utilizaran los planos obtenidos en el diseño preliminar.

- Obtener la curva de correlación entre las distintas deformaciones en el ensayo experimental y los valores analíticos.

Indicador: Se utilizara la herramienta Excel para el desarrollo de las curvas de deformaciones y tabulación de los datos.

Resultado: Curvas de correlación

4. JUSTIFICACION

La facultad de ingeniería mecánica de la universidad pontificia bolivariana cuenta con diferentes equipos y elementos para lograr una práctica de laboratorio sobre el tema de la aplicación de galgas extensiométrica, sin embargo no se encuentra una metodología correcta para lograr que los resultados sean los adecuados teniendo en cuenta la calibración del equipo de medición para su óptimo funcionamiento en el tema de puente Wheatstone.

Generar una metodología donde el alumno pueda tener las herramientas necesarias para medir las deformaciones en un elemento estructural bajo un estado de cargas dado, y confirmar los resultados obtenidos en pruebas con los resultados teóricos deducidos mediante ecuaciones de resistencia de materiales.

El desarrollo de una metodología para la aplicación de galgas extensiométricas de las diferentes probetas es la consecuencia de un comportamiento físico frecuente en situaciones reales, donde se caracteriza la frecuencia y la magnitud de las fuerzas que se estén aplicando sobre el elemento estructural.

5. MARCO TEORICO

Las herramientas teóricas que se abordan en este documento, son una parte importante del análisis básico necesario para el diseño y pruebas de las diferentes probetas.

Estos pertenecen a los temas de Resistencia de materiales, Diseño de máquinas 1, Dibujo de máquinas, los cuales fueron abordados durante el curso de pregrado de ingeniería mecánica, también se toman conceptos particulares como circuitos, unidades de resistencia eléctrica y unidades eléctricas.

5.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ELASTICIDAD

La elasticidad es estudiada por la teoría de la elasticidad, que a su vez es parte de la mecánica de sólidos deformables. La teoría de la elasticidad (TE) como la mecánica de sólidos (MS) deformables describe cómo un sólido (o fluido totalmente confinado) se mueve y deforma como respuesta a fuerzas exteriores. La diferencia entre la TE y la MS es que la primera solo trata sólidos en que las deformaciones son termodinámicamente reversibles y en los que el estado tensiones σ en un punto X en un instante dado dependen solo de las deformaciones ϵ en el mismo punto y no de las deformaciones anteriores. La propiedad elástica de los materiales está relacionada, como se ha mencionado, con la capacidad de un sólido de sufrir transformaciones termodinámicas reversibles e independencia de la velocidad de deformación (los sólidos visco elásticos y los fluidos, por ejemplo, presentan tensiones dependientes de la velocidad de deformación). Cuando sobre un sólido deformable actúan fuerzas exteriores y éste se deforma se produce un trabajo de estas fuerzas que se almacena en el cuerpo en forma de energía potencial elástica y por tanto se producirá un aumento de la energía interna. El sólido se comportará elásticamente

si este incremento de energía puede realizarse de forma reversible, en este caso se dice que el sólido es elástico¹.

5.1.1. Módulo de elasticidad [$E=\sigma/\epsilon$].

Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el modulo se denomina módulo de Young y tiene el mismo valor para una tensión que para una compresión.

5.1.2. Esfuerzo.

Es la razón entre la fuerza aplicada sobre una superficie y el área de la misma y está dada por la siguiente ecuación $\sigma = F/A$

5.1.3. Deformación.

Es la variación en longitud por unidad de longitud que tiene un cuerpo cuando está sometido a una fuerza y está dada por la siguiente ecuación. [$\epsilon = \frac{dl}{l}$]

5.1.4. Ley de Hooke.

La deformación sufrida por un cuerpo elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a su sección y está dada por la siguiente ecuación [$dl = k.(F/A)^2$].

¹ Prácticas de instrumentación electrónica: Un enfoque desde la didáctica hasta la aplicación industrial. [en Línea] Recuperado enero 18 de 2015 en: <http://www.epsevg.upc.edu/xic/ponencias/R0220.pdf>.

5.1.5. La fuerza y su medida.

La fuerza se define como aquella acción que es ejercida sobre un cuerpo que produce sobre él una deformación, que será tanto más grande como mayor sea la fuerza causante; la misma que aplicada sobre un mismo objeto producirá efectos distintos en función de la dirección sobre la que actúa. Así las deformaciones pueden serlo por tensión o compresión. Esto es debido a que la fuerza es una magnitud vectorial y, por tanto es preciso asociar el valor de su intensidad la información relativa a su dirección y sentido de actuación. Esta deformación es debida a que las partículas del material se desplazan hasta una posición que permita establecer un equilibrio entre las fuerzas interiores del material y la aplicada exteriormente, y se mantendrá mientras subsista dicha fuerza actuante externa. En el momento en que la fuerza deformadora cesa en su acción, las fuerzas interiores tienden a restituir la posición inicial; pudiendo suceder que el cuerpo deformado recupere completamente, o no, su forma original. En el primer caso, el cuerpo es perfectamente elástico en el segundo. El que un cuerpo sea elástico depende de las características del material y de la magnitud de la deformación, pudiendo considerar que, para pequeñas deformaciones, todos los cuerpos son elásticos³.

5.2 FLEXIÓN

Esfuerzo que tiende a doblar el objeto, las fuerzas que actúan son paralelas a las superficies que sostienen el objeto. Siempre que existe flexión también se generan esfuerzos de tensión y compresión⁴.

³ Ibíd.

⁴Esfuerzo, flexión y torsión. [en Línea] Recuperado enero 16 de 2015 en: <http://es.slideshare.net/enmanuelacaro/presentacion-enmanuela>

5.2.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

Los miembros esbeltos y que soportan cargas aplicadas perpendicularmente a sus ejes longitudinales se llaman **vigas**. En general, las vigas son barras rectas y largas que tienen secciones transversales constantes. A menudo se clasifican según el modo en que están soportadas. Las vigas pueden considerarse entre los elementos estructurales más importantes, como ejemplos se cuentan los miembros usados para soportar el piso de un edificio, la cubierta de un puente o el ala de un aeroplano. Debido a las cargas aplicadas, las vigas desarrollan una fuerza cortante y un momento flexionante internos que, en general, varían de punto a punto a lo largo del eje de la viga. Para diseñar apropiadamente una viga es necesario primero determinar la fuerza cortante máxima y el momento flexionante máximo en la viga. Una manera de hacerlo es expresar V y M como funciones de la posición x a lo largo del eje de la viga. Esas *funciones de fuerza cortante y momento flexionante* pueden trazarse y representarse por medio de graficas llamadas **diagramas de cortante y momento**. Los valores máximos de V y M pueden entonces obtenerse de esas gráficas. Además, como los diagramas de cortante y momento dan información detallada sobre la *variación* de la fuerza cortante y del momento flexionante a lo largo del eje de la viga, ellos son usados por los ingenieros para decidir dónde colocar material de refuerzo dentro de la viga o para determinar el tamaño de la viga en varios puntos a lo largo de su longitud. En general, las funciones de fuerza cortante y momento flexionante interno obtenidas en función de x serán *discontinuas*, o bien sus pendientes serán discontinuas en puntos en que la carga distribuida cambia o donde fuerzas o momentos concentrados son aplicados. Debido a esto, las funciones de cortante y momento deben determinarse para cada región de la viga localizada entre dos discontinuidades cualesquiera de carga.

5.2.1.1 Convención de signo para vigas.

Antes de presentar un método para determinar la fuerza cortante y el momento flexionante como funciones de x y luego trazar esas funciones, es necesario primero establecer una *convención de signos* que nos permita definir fuerzas cortantes y momentos flexionantes internos “positivos” y “negativos”. Las *direcciones positivas* son las siguientes: la *carga distribuida* actúa *hacia abajo* sobre la viga; la *fuerza cortante* interna genera una rotación *horaria* del segmento de viga sobre el cual ella actúa y el *momento flexionante* interno genera *compresión* en las *fibras superiores* del segmento. Las cargas opuestas a estas se consideran negativas.

5.2.1.2 Procedimiento de análisis.

Los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante pueden ser construidos usando el siguiente procedimiento:

- **Reacciones en los soportes.** Determine todas las fuerzas y momentos reactivos que actúan sobre la viga, y resuelva todas las fuerzas en componentes actuando perpendicularmente al eje de la viga.
- **Funciones de fuerza cortante y momento flexionante.** Especifique coordenadas x separadas que tengan un origen en el *extremo izquierdo* de la viga y se extiendan a regiones de la viga entre fuerzas y/o momentos concentrados, o donde no haya discontinuidad de la carga. Seccione la viga perpendicularmente a su eje en cada distancia x y dibuje el diagrama de cuerpo libre de uno de los segmentos. Asegúrese de que V y M se muestren actuando en sus sentidos positivos, de acuerdo con la convención de signos anterior. La fuerza cortante se obtiene sumando las fuerzas

perpendiculares al eje de la viga y el momento flexionante se obtiene sumando los momentos respecto al extremo seccionado del segmento.

- **Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.** Trace el diagrama de cortante (V versus x) y el diagrama de momento flexionante (M versus x). Si los valores numéricos de las funciones que describen V y M son positivos, los valores se trazan sobre el eje x , mientras que los valores negativos se trazan debajo del eje. En general, es conveniente mostrar los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante directamente abajo del diagrama de cuerpo libre de la viga.

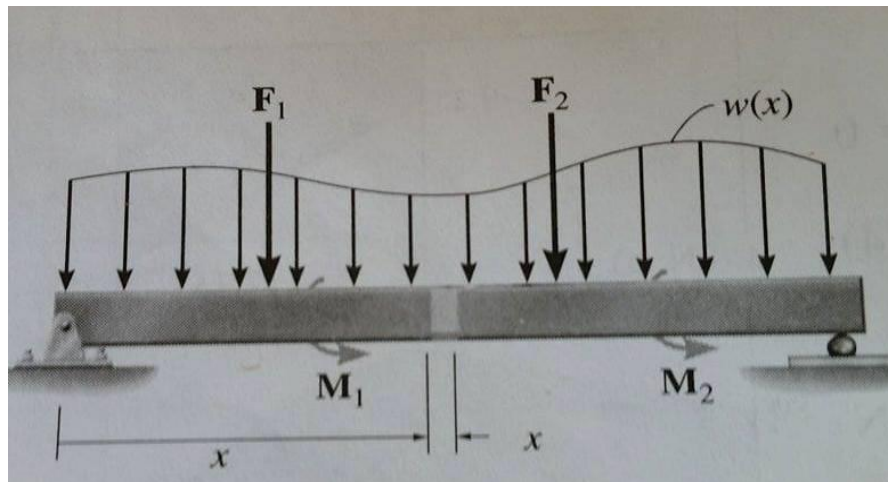
5.2.2 Método gráfico para construir diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

En los casos en que una viga está sometida a varias fuerzas y momentos concentrados, así como a cargas distribuidas, la determinación de V y M como funciones de x y el posterior trazo de esas ecuaciones puede resultar muy tedioso. Por ello es necesario desarrollar un método más simple para construir diagramas de fuerza cortante y momento flexionante que se basa en dos relaciones diferenciales que existen entre la carga distribuida, la fuerza cortante y el momento flexionante.

5.2.2.1 Regiones de carga distribuida.

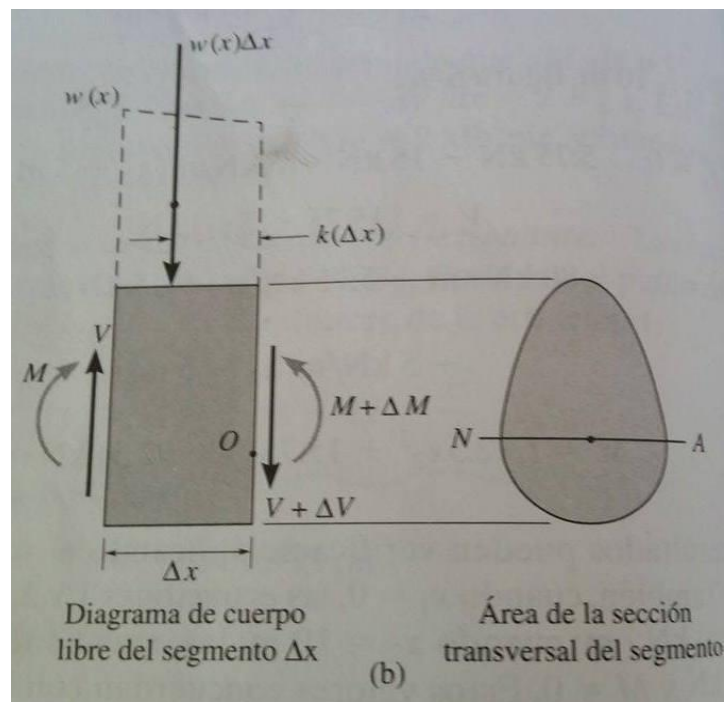
Consideremos la viga mostrada en la figura 1 que está sometida a una carga arbitraria. En la figura 2 se muestra un diagrama de cuerpo libre para un pequeño segmento Δx de la viga. Como este segmento se ha escogido en una posición x a lo largo de la viga donde no existe una fuerza o un momento centrado, los resultados que se obtengan no serán aplicables en esos puntos de carga concentrada.

Figura 1. Viga afectada por carga puntual y distribuida



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición

Figura 2. Diagrama de cuerpo libre (Δx).



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición.

Se advierte que todas las cargas mostradas sobre el segmento actúan en sus direcciones positivas de acuerdo con la convención de signos establecidos. Además, tanto la fuerza como el momento interno resultante que actúan sobre la carga derecha del segmento deben incrementarse. La carga distribuida ha sido reemplazada por una fuerza resultante $w(x)$ [por ejemplo, si $w(x)$ es uniforme, $k = \frac{1}{2}$]. Aplicando las dos ecuaciones de equilibrio al segmento, tenemos:

$$+\uparrow \sum Fy = 0;$$

$$V - w(x)\Delta x - (V + \Delta V) = 0$$

$$\Delta V = -w(x)\Delta.$$

$$\curvearrowright + \sum Mo = 0$$

$$-V\Delta x - M + w(x)\Delta x[k(\Delta x)] + (M + \Delta M) = 0$$

$$\Delta M = V\Delta x - w(x)k(\Delta x)^2$$

Dividiendo entre Δx y tomando el límite cuando $\Delta x \rightarrow 0$, Se obtiene:

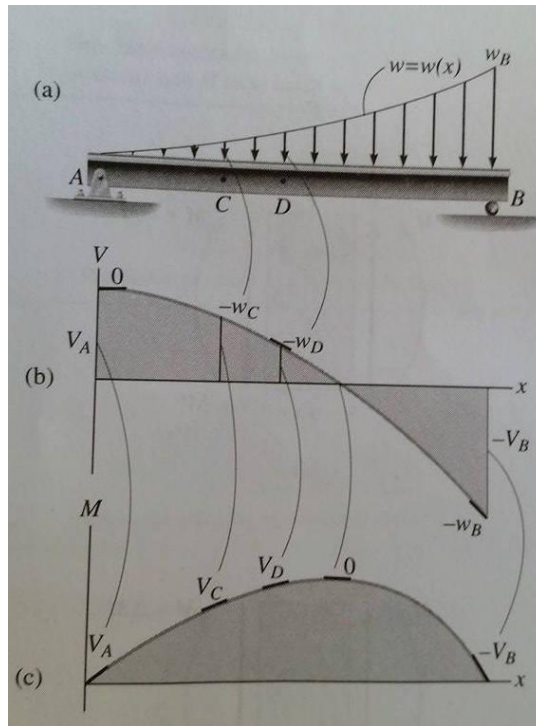
Pendiente del diagrama de fuerza cortante en cada punto = - intensidad de la carga distribuida en cada punto. $[\frac{dV}{dx} = -w(x)]$.

Pendiente del diagrama de momento flexionante en cada punto = fuerza cortante en cada punto. $[\frac{dM}{dx} = V]$.

Estas dos ecuaciones proporcionan un medio conveniente para trazar rápidamente los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante. Considere la viga en la figura 5.3a. La carga distribuida es positiva y crece de cero a wB . Por lo tanto, el diagrama de fuerza cortante será una curva con *pendiente negativa* que crece de cero a $-wB$. En la figura 5.3b se muestran las pendientes específicas $wA = 0, -wC, -wD$ y $-wB$. Observe que el diagrama de fuerza cortante en la figura 5.3b comienza en $+VA$, decrece a cero y luego se vuelve negativa, decreciendo $-VB$. El diagrama de momento flexionante tendrá entonces una

pendiente inicial de $+V_A$ que decrece a cero, luego se vuelve negativa y decrece a $-V_B$. Las pendientes $V_A, V_C, V_D, 0$ y $-V_B$ se muestran en la figura 5.3c.

Figura 3. Diagramas momentos y cortantes.



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición

5.2.2.2 Regiones de fuerza y momento concentrados.

En la figura 5.4a se muestra un diagrama de cuerpo libre de un pequeño segmento de la viga en la figura

1 tomado bajo una de las fuerzas. Puede verse aquí que por equilibrio de fuerzas se requiere.

$$+\uparrow \sum Fy = 0$$

$$V - F - (V + \Delta V) = 0$$

Ecuación 1. Sumatoria de fuerzas en el eje y

$$\Delta V = -F \quad (1).$$

Entonces, cuando F actúa hacia abajo sobre la viga, ΔV es negativa por lo que la fuerza cortante “saltará” hacia abajo. De la misma manera, si F actúa hacia arriba, el salto (ΔV) será hacia arriba. De la figura 5.4b, el equilibrio por momentos requiere que el cambio en momento sea:

$$V + \sum M_o = 0; \quad M + \Delta M - M_o - V\Delta x - M = 0$$

Haciendo que $\Delta x \rightarrow 0$, obtenemos:

Ecuación 2. Sumatoria de momentos teniendo en cuenta, $\Delta x \rightarrow 0$

$$\Delta M = M_o \quad (2).$$

En este caso, si M_o se aplica en sentido horario, ΔM es positivo por lo que el diagrama de momento “saltará” hacia arriba. Igualmente, cuando M_o actúa en sentido anti horario, el salto (ΔM) será hacia abajo.

5.2.2.3 Procedimiento de análisis.

El siguiente procedimiento proporciona un método para construir los diagramas de cortante y momento para una viga con base en las relaciones entre carga distribuida, fuerza cortante y momento flexionante.

- **Reacciones en los soportes.** Determine las reacciones en los soportes y resuelva las fuerzas que actúan sobre la viga en componentes que sean perpendiculares y paralelas al eje de la viga
- **Diagrama de fuerza cortante.** Establezca los ejes V y x y marque los valores conocidos de la fuerza cortante en los dos extremos de la viga. Como $\frac{dV}{dx} = -w$, la pendiente del diagrama de fuerza cortante en cualquier punto es igual a la intensidad (negativa) de la *carga distribuida* en el punto. Note que w es positiva cuando actúa hacia abajo. Si debe determinarse el

valor numérico de la fuerza cortante en un punto, puede encontrarse este valor con el método de las secciones y la ecuación de equilibrio de fuerzas, o bien usando $\Delta V = - \int w(x) dx$, que establece que el *cambio en la fuerza cortante* entre dos puntos cualesquiera es igual al valor (*negativo*) del área bajo *el diagrama de carga* entre los dos puntos. Dado que $w(x)$ debe integrarse para obtener ΔV , si $w(x)$ es una curva de grado n , $V(x)$ será una curva de grado $n+1$; por ejemplo, si $w(x)$ es uniforme, $V(x)$ será lineal.

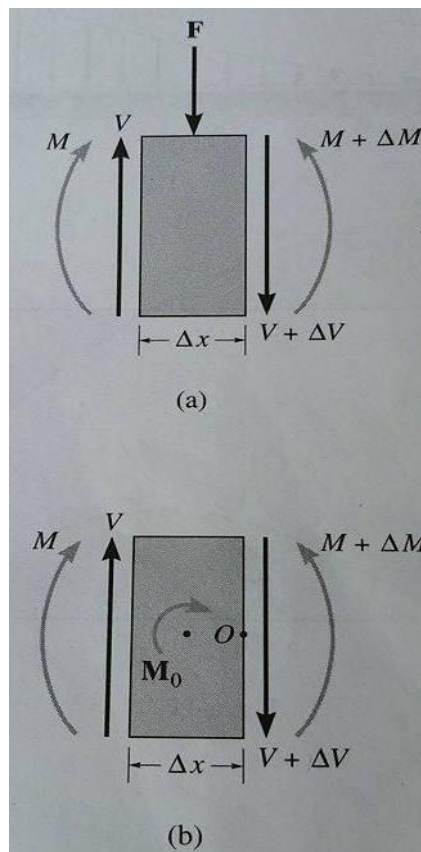
- **Diagrama de momento flexionante.** Establezca los ejes M y x y trace los valores conocidos del momento en los extremos de la viga. Como $\frac{dM}{dx} = V$, la *pendiente* del diagrama de momento en cualquier punto es igual a la *fuerza cortante* en el punto. En el punto en que la fuerza cortante es cero, $\frac{dM}{dx} = 0$, y por tanto, éste será un punto de momento máximo o mínimo. Si va a determinarse un valor numérico del momento en el punto, puede encontrarse este valor usando el método de las secciones y la ecuación de equilibrio por momentos, o bien usando $\Delta M = \int V(x)dx$, que establece que el *cambio en el momento* entre dos puntos cualesquiera es igual al *área bajo el diagrama de fuerza cortante* entre los dos puntos. Como $V(x)$ debe integrarse para obtener ΔM , si $V(x)$ es una curva de grado n , $M(x)$ será una curva de grado $n+1$; por ejemplo, si $V(x)$ es lineal, $M(x)$ será parabólica.

5.2.3 La fórmula de la flexión.

Se desarrollara una ecuación que relaciona la distribución del esfuerzo longitudinal en una viga con el momento de flexión interno resultante que actúa sobre la sección transversal de la viga. Para realizar esto, supondremos que el material se comporta de manera elástica lineal, por lo que es aplicable la ley de Hooke, esto es, $\sigma = E \epsilon$.

Una **variación lineal de la deformación unitaria normal**, la figura 5. debe ser entonces la consecuencia de una **variación lineal del esfuerzo normal**, figura 5.b. Por tanto, igual que la variación de la deformación unitaria normal, σ variará de cero en el eje neutro del miembro a un valor máximo σ_{max} en puntos a la distancia c máxima desde el eje neutro. Por triángulos semejantes, figura 5.b, o usando la ley de Hooke, $\sigma = E \epsilon$ y la ecuación $\epsilon = -\left(\frac{y}{c}\right) \epsilon_{max}$ podemos escribir:

Figura 4. Diagrama de cuerpo libre (Δx).



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición.

Ecuación 3. Esfuerzo en función de σ_{max} usando la ley de Hooke y la deformación unitaria

$$\sigma = -\left(\frac{y}{c}\right) \sigma_{max} \quad (3).$$

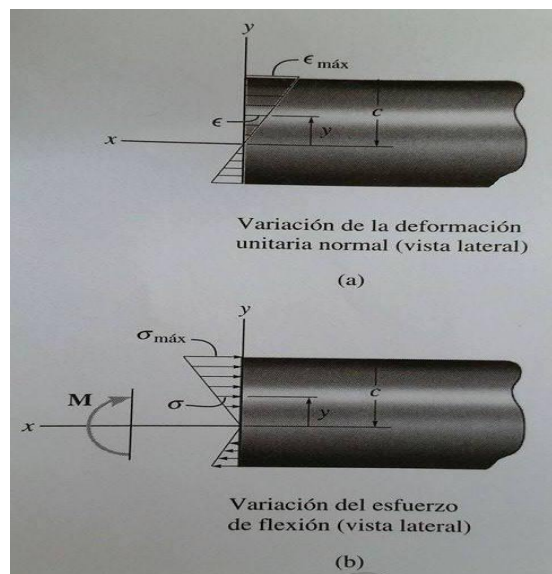
La ecuación representa la distribución del esfuerzo sobre la sección transversal. La convención de signos establecida aquí es importante. Para un M positivo actuando en la dirección $+z$, valores positivos de y dan valores negativos para σ , esto es, un esfuerzo de compresión ya que actúa en la dirección negativo de x . Similarmente, valores negativos de y darán valores positivos o de tensión para σ . Si se selecciona un elemento de volumen de material en un punto específico sobre la sección transversal, solo esos esfuerzos normales de tensión o de compresión actuarán sobre él. Por ejemplo, el localizado en $+y$ se muestra en la figura 6.

Podemos localizar la posición del eje neutro sobre la sección transversal satisfaciendo la condición de que la *fuerza resultante* producida por la distribución de esfuerzo sobre la sección transversal debe ser igual a *cero*. Notando que la fuerza $dF = \sigma dA$ actúa sobre el elemento arbitrario dA en la figura 6, requerimos que:

$$FR = \sum x; \quad 0 = \int_A dF = \int_A \sigma dA$$

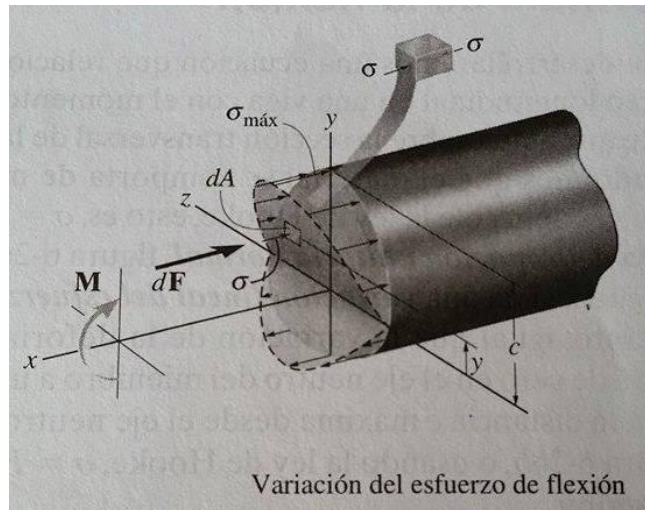
$$= \int_A -\left(\frac{y}{c}\right) \sigma_{\max} dA$$

Figura 5. Variación de la deformación unitaria y el esfuerzo de flexión.



Fuente: R.C Hibbeler. *Mecánica de materiales sexta edición*

Figura 6. Variación del esfuerzo de flexión.



Fuente: *R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición.*

Como $\frac{\sigma_{max}}{c}$ no es igual a cero, entonces:

Ecuación 4. Momento estático de la sección transversal

$$\int_A y dA = 0$$

Esta condición solo puede ser satisfecha si el *eje neutro* es también el *eje centroidal* horizontal de la sección transversal.

Podemos determinar el esfuerzo en la viga a partir del requisito de que el momento interno resultante M debe ser igual al momento producido por la distribución del esfuerzo respecto al eje neutro. El momento de dF en la figura 6 respecto al eje neutro es $dM = ydF$. Este momento es *positivo* ya que, por la regla de la mano derecha, el pulgar está dirigido a lo largo del eje positivo z cuando los dedos se curvan según el sentido de rotación causado por dM . Como $dF = \sigma dA$, usando la ecuación 3, tenemos para la sección transversal total,

$$(MR)Z = \sum MZ; \quad M = \int_A y dF = \int_A y(\sigma dA) = \int_A y \left(\frac{y}{c} \sigma_{max} \right) dA$$

Ecuación 5. Momento en función del esfuerzo máximo.

$$M = \frac{\sigma_{max}}{c} \int_A y^2 dA \quad (5).$$

La integral en esta ecuación representa el *momento de inercia* de la sección transversal de la viga respecto al eje neutro. Lo denotamos con I . De la ecuación 5 podemos entonces despejar σ_{max} y escribirla en forma general como:

Ecuación 6. Esfuerzo máximo de flexión.

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad (6).$$

σ_{max} = esfuerzo normal máximo en el miembro que ocurre en el punto de la sección transversal *mas alejado* del eje neutro.

M = momento interno resultante, determinado con el método de las secciones y las ecuaciones de equilibrio y se calcula con respecto al eje neutro de la sección transversal.

I = momento de inercia de la sección transversal calculado respecto al eje neutro.

c = distancia perpendicular del eje neutro al punto mas alejado de este eje y sobre el cual actúa σ_{max} .

Como $\frac{\sigma_{max}}{c} = -\frac{\sigma}{y}$, ecuación 3, el esfuerzo normal a la distancia y intermedia puede determinarse con una ecuación similar a la ecuación 6. Tenemos:

Ecuación 7. Esfuerzo de flexión teniendo en cuenta la sección transversal.

$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (7)$$

Se advierte que el signo negativo es necesario ya que es consistente con los ejes x , y y z , establecidos. Por la regla de la mano derecha, M es positivo a lo largo del eje $+z$, y es positiva hacia arriba por lo que σ debe ser negativo (compresivo) ya que actúa en la dirección x negativa, figura 6.

A cualesquiera de las dos ecuaciones anteriores se les llama **formula de la flexión**. Se usa para determinar el esfuerzo normal en un miembro recto con sección transversal simétrica respecto a un eje si el momento es aplicado perpendicularmente a este eje. No obstante que hemos supuesto que el miembro es prismático, podemos en la mayoría de los casos de diseño usar la fórmula de la flexión también para determinar el esfuerzo normal en miembros que tienen un *ligero ahusamiento*. Por ejemplo, con base en la teoría de la elasticidad, un miembro con sección transversal rectangular y un ahusamiento de 15° en sus lados superior e inferior longitudinales, tendrá un esfuerzo normal máximo real que es aproximadamente 5.4% *menor* que el calculado usando la fórmula de la flexión.

5.2.3.1 Procedimiento de análisis.

Para aplicar la fórmula de la flexión, se sugiere el siguiente procedimiento.

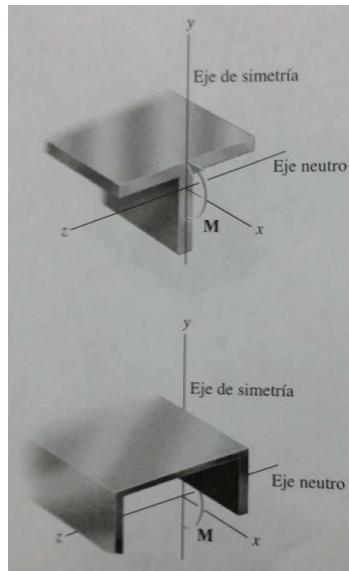
- **Momento interno.** Seleccione el miembro en el punto donde el esfuerzo de flexión va a ser determinado, y obtenga el momento interno M en la sección. El eje neutro o centroidal de la sección transversal debe ser conocido, ya que M debe ser calculado respecto a este eje. Si el esfuerzo de flexión máximo absoluto va a ser determinado, dibuje entonces el diagrama de momentos flexionantes para determinar el momento máximo en la viga.
- **Propiedad de la sección.** Calcule el momento de inercia de la sección transversal respecto al eje neutro.
- **Esfuerzo normal.** Especifique la distancia media y , medida perpendicularmente al eje neutro, al punto donde va a determinarse el esfuerzo normal. Aplique luego la ecuación $\sigma = -\frac{My}{I}$ o, si va a calcularse el esfuerzo máximo de flexión, use $\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$. Al sustituir los valores numéricos, asegúrese de que las unidades sean consistentes. El esfuerzo actúa en una dirección tal que la fuerza que el crea en el punto genera un

momento respecto al eje neutro que tiene el mismo sentido que el momento interno M , figura 6. De esta manera, la distribución del esfuerzo que actúa sobre toda la sección transversal puede esbozarse, o aislarse un elemento de volumen del material para representar gráficamente el esfuerzo normal que actúa en el punto.

5.2.4 Flexión asimétrica.

Cuando desarrollamos la fórmula de la flexión, impusimos la condición de que la sección transversal fuese *simétrica* respecto a un eje perpendicular al eje neutro; además, el momento interno resultante M debía actuar a lo largo del eje neutro. Tal es el caso para las sección "T" o en canal mostradas en la figura 5.7. Sin embargo, esas condiciones son innecesarias y en esta sección mostraremos que la fórmula de la flexión puede también aplicarse a una viga con sección transversal de cualquier forma o una viga sometida a un momento interno resultante actuando en cualquier dirección.

Figura 7 Secciones T y en canal.



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición

5.2.4.1 Momento aplicado a lo largo de un eje principal.

Consideremos la sección transversal de la viga con la forma asimétrica mostrada en la figura 5.7. Tal como lo hicimos en la sección 5.2.3, establecemos un sistema coordenado derecho x, y, z con su origen localizado en el centroide C de la sección transversal y el momento interno resultante M actuando a lo largo del eje $+z$. Requerimos que la distribución del esfuerzo que actúa sobre toda la sección transversal tenga una fuerza resultante cero, un momento interno resultante respecto al eje y igual a cero y un momento interno resultante respecto al eje z igual a M .

La condición de que los momentos respecto al eje y sean iguales a cero no se consideró en la sección 5.2.3, ya que la distribución del esfuerzo de flexión era simétrica respecto al eje y y tal distribución del esfuerzo da automáticamente un momento cero respecto al eje y . Estas tres condiciones pueden expresarse matemáticamente considerando la fuerza que actúa sobre el elemento diferencial dA localizado en $(0, y, z)$, figura 8a. Esta fuerza es $dF = \sigma dA$, y por tanto tenemos:

Ecuación 8.

$$FR = \sum Fx; \quad 0 = \int_A \sigma dA \quad (8).$$

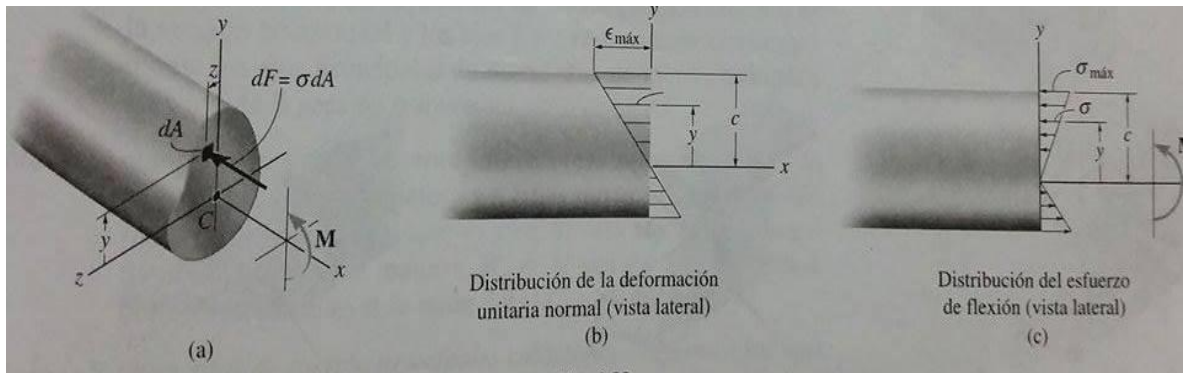
Ecuación 9.

$$(MR)_y = \sum My; \quad 0 = \int_A z \sigma dA \quad (9).$$

Ecuación 10.

$$(MR)_z = \sum Mz; \quad M = \int_A -y \sigma dA \quad (10).$$

Figura 8. Distribución de la fuerza y el esfuerzo.



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición.

Como se mostró en la sección 5.2.3, la ecuación 8 se satisface ya que el eje z pasa por el centroide de la sección transversal. Además, como el eje z representa el eje neutro de la sección transversal, la deformación unitaria normal variará linealmente de cero en el eje neutro a un máximo en un punto con la máxima coordenada y , $y = c$, respecto al eje neutro, figura 5.8b. Si el material se comporta de manera elástica lineal, la distribución del esfuerzo normal sobre la sección transversal es *también* lineal, por lo que $\sigma = -\left(\frac{y}{c}\right)\sigma_{max}$, figura 5.8c. Cuando esta ecuación se sustituye en la ecuación 10 y se integra, se llega a la fórmula de la flexión $\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$. Cuando se sustituye en la ecuación 9, obtenemos

$$0 = \frac{-\sigma_{max}}{c} \int_A yz dA$$

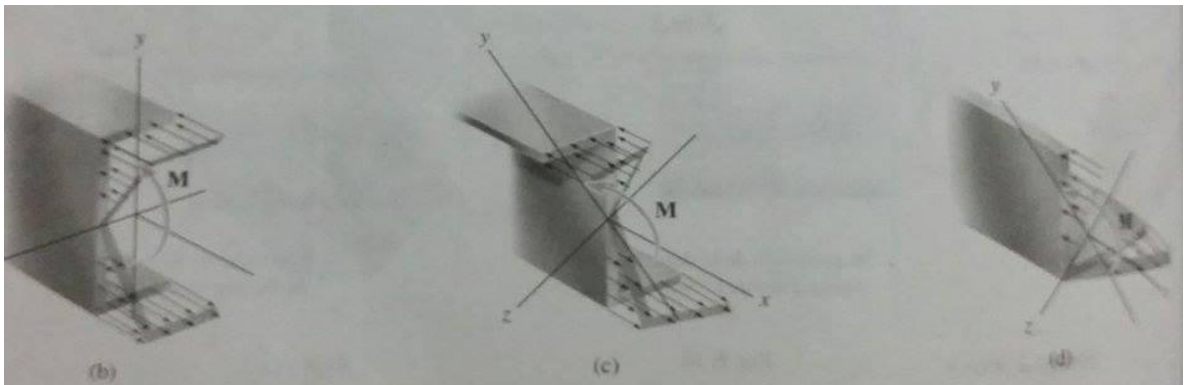
lo que implica que

$$\int_A yz dA = 0$$

Esta integral se llama **producto de inercia** de la sección transversal, será ciertamente igual a cero si los ejes y y z se escogen como los **ejes de inercia principales** de la sección transversal. Para una sección transversal de forma arbitraria, la orientación de los ejes principales siempre puede determinarse usando las ecuaciones de transformación o bien el círculo de Mohr. Sin embargo, si la sección transversal tiene un eje de simetría, los **ejes principales** pueden establecerse fácilmente **ya que ellos siempre están orientados a lo largo del eje de simetría y perpendicularmente a éste**.

En resumen, las ecuaciones 8 y 10 *siempre* serán satisfechas si el momento M se aplica respecto a uno de los ejes centroidales principales de inercia. Por ejemplo, considere los miembros mostrados en la figura 9. En cada uno de estos casos, y y z definen los ejes principales de inercia de la sección transversal cuyo origen se localiza en el centroide del área. En las figura 5.9b, el eje principal se localiza por simetría y en las figuras 9c y 9d su orientación se determina usando los Mohr. Como M se aplica respecto a uno de los ejes principales (*eje z*), la distribución del esfuerzo se determina con la fórmula de la flexión, $\sigma = \frac{My}{I_z}$, y se muestra para cada caso.

Figura 9. Ejes principales dependiendo de la sección transversal



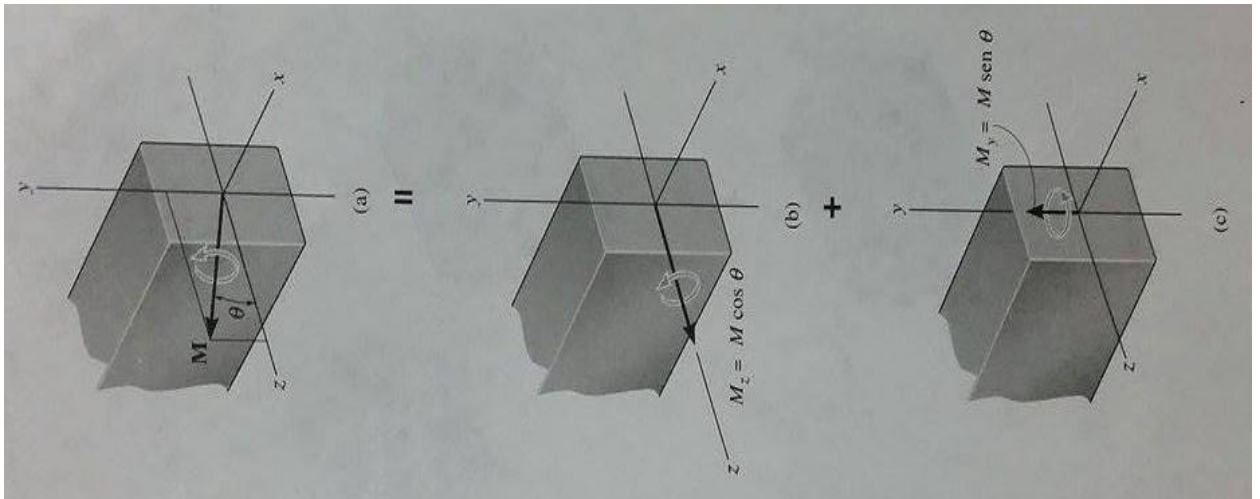
Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición.

5.2.4.2 Momento aplicado arbitrariamente.

En ocasiones un miembro puede estar cargado de modo tal que el momento interno resultante no actúa respecto a uno de los ejes principales de inercia de la sección transversal. Cuando éste es el caso, el momento debe primero descomponerse en componentes dirigidas a lo largo de los ejes principales. La fórmula de la flexión puede entonces usarse para determinar el esfuerzo normal causado por cada componente del momento. Finalmente, usando el principio de superposición, el esfuerzo normal resultante en un punto puede determinarse.

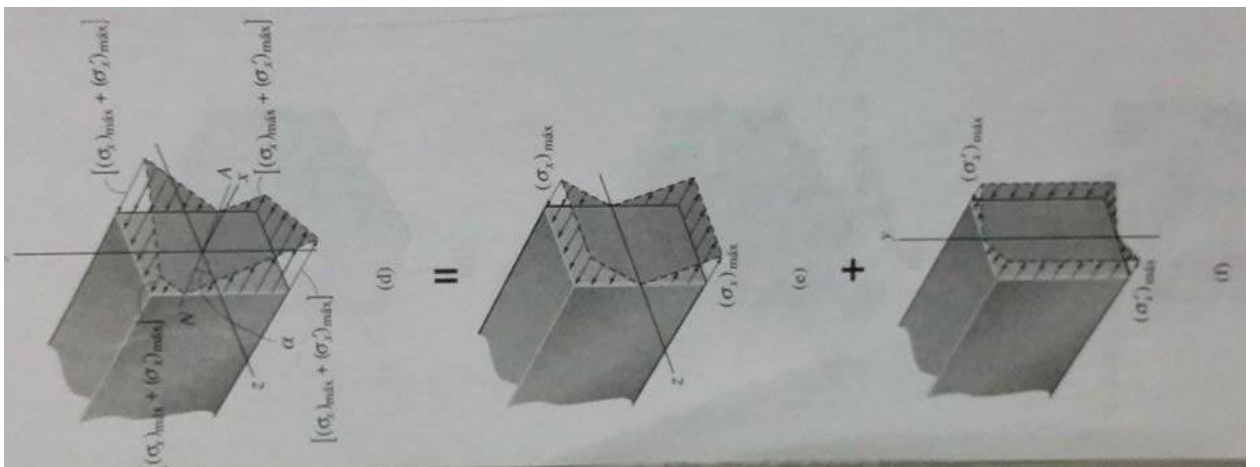
Para mostrar cómo se hace esto, considere la viga con la sección transversal rectangular sometida al momento M mostrada en la figura 5.10a. Aquí, M forma un ángulo θ con el eje principal z . Supondremos que θ es positivo cuando esta dirigido del eje $+z$ hacia el eje $+y$, como se muestra. Descomponiendo M en componentes a lo largo de los ejes z y y , tenemos $M_z = M \cos \theta$ y $M_y = M \sin \theta$, respectivamente. Cada una de estas componentes M_z y M_y se muestran en las figuras 5.11a, 5.11b y 5.11c, respectivamente. Se supone aquí que $(\sigma)_{max} > (\sigma)_{min}$. Por inspección, los esfuerzos máximos de tensión y de compresión $[(\sigma)_{max} + (\sigma)_{min}]$ se presentan en dos esquinas opuestas de la viga, figura 5.11a.

Figura 10. Secciones transversales sometidas al momento M.



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición.

Figura 11. Disposición de la carga según el eje neutro. (M_z , M_y)



Fuente: R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición.

Aplicando la fórmula de la flexión a cada componente del momento en las figuras 5.10b y 5.10c, podemos expresar el esfuerzo normal resultante en cualquier punto sobre la sección transversal, figura 5.11a, en términos generales como:

Ecuación 11. Esfuerzo normal en cualquier punto.

$$\sigma = -\frac{Mzy}{Iz} + \frac{Myz}{Iy} \quad (11).$$

Donde

σ = esfuerzo normal en el punto

y, z = coordenadas del punto medidas desde los ejes x, y, z que tienen su origen en el centroide de la sección transversal y forman un sistema coordenado derecho. El eje x está dirigido saliendo de la sección transversal y los ejes y y z representan respectivamente los ejes principales de momentos de inercia mínimo y máximo de la sección transversal.

M_y, M_z = componentes del momento interno resultante dirigidas a lo largo de los ejes principales y y z . Ellas son positivas si están dirigidas a lo largo de los ejes $+y$ y $+z$; de otra manera, son negativas. Dicho de otra manera, $M_y = M \sin \theta$ y $M_z = M \cos \theta$, donde θ es positivo si se mide del eje $+z$ hacia el eje $+y$.

I_y, I_z = momentos de inercia principales calculados respecto a los ejes y y z , respectivamente.

Como mencionamos anteriormente, es *muy importante* que los ejes x, y, z formen un sistema derecho y que se asignen los signos algebraicos apropiados a las componentes del momento y a las coordenadas al aplicar esta ecuación. El esfuerzo será de *tensión* si es *positivo* y de *compresión* si es *negativo*.

5.2.4.3 Orientación del eje neutro.

El ángulo α del eje neutro en la figura 11^a puede determinarse aplicando la ecuación 11 con $\sigma = 0$, ya que por definición, ningún esfuerzo normal actúa sobre el eje neutro. Tenemos

$$y = \frac{M_y I_z}{M_z I_y}$$

Como $M_z = M \cos \theta$ y $M_y = M \sin \theta$, entonces

Ecuación 12. Ecuación de la línea que define el eje neutro de la sección transversal

$$y = \left(\frac{I_z}{I_y} \tan \theta\right) \quad (12)$$

Como la pendiente de esta línea es $\tan \alpha = \frac{y}{z}$, entonces,

Ecuación 13. Ángulo que define la inclinación del eje neutro.

$$\tan \alpha = \frac{I_z}{I_y} \tan \theta \quad (13)$$

Puede verse aquí que para la *flexión asimétrica* el ángulo θ , que define la dirección del momento M, figura 10a, no es igual a α , esto es, al ángulo que define la inclinación del eje neutro, figura 11a, a menos que $I_z = I_y$.

En cambio, si al igual que en la figura 5.10a el eje y se escoge como el eje principal para el momento de inercia mínimo y el eje z se escoge como el eje principal para el momento de inercia máximo, de modo que $I_y < I_z$, entonces de la ecuación 13 podemos concluir que el ángulo α , que se mide positivamente desde el eje +z hacia el eje +y, se encontrará entre la línea de acción de M y el eje y, esto es $\theta \leq \alpha \leq 90^\circ$.⁵

5.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN EXTENSÓMETRO ELÉCTRICO DE RESISTENCIA

El pionero Lord Kelvin en 1856, observó que al cargar mecánicamente unos hilos de hierro y cobre, se producía una variación de la resistencia eléctrica, siendo mayor la variación en el hierro que en el cobre. La medida se realizó con la ayuda de un puente Wheatstone, utilizando un galvanómetro como indicador. Pese a la antigüedad del descubrimiento, hubo que esperar 80 años más para que se hiciera una aplicación práctica del mismo. En 1938, Ruge y Simmons desarrollaron

⁵ R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición, Capítulo 6. Pearson Educación. 2006.

independientemente un extensómetro eléctrico para estudiar las relaciones tensión-deformación en un material sometido a impacto y se hicieron sus primeras aplicaciones para fines aeronáuticos. Su difusión y desarrollo se hizo después de la segunda guerra mundial⁶.

Ecuación 14. Variación de la resistencia a consecuencia de la deformación

$$R = p \frac{L}{A} \quad (14)$$

donde;

p = resistividad

L = longitud

A = sección

Si por ejemplo el hilo es de sección circular de diámetro D , el área A será igual a mD^2 donde $m=\pi/4$, si la sección es cuadrada de lado D , la constante m es igual a 1. En consecuencia se convierte en:

$$R = p(L/mD^2) \quad (5.2)$$

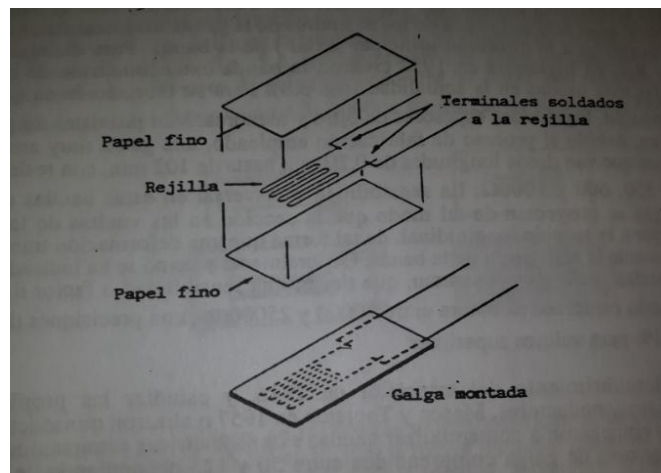
5.4 TIPOS DE EXTENSÓMETROS ELÉCTRICOS

Es teóricamente posible, medir deformaciones con un solo hilo como elemento sensible, sin embargo, para no sobrecargar la fuente de alimentación del circuito y reducir lo más posible el calor generado por la corriente que circula por el extensómetro, es necesaria una resistencia mínima de 100 Ω para la galga. Si se emplea un conductor de constan de 0.025 mm de diámetro correspondiente a una resistencia de 1000 Ω /m se necesitaría una longitud de 10 cm. Esta longitud es prohibitiva si se desean realizar medidas precisas y muy localizadas. El problema fue resuelto por Simmons y Ruge en 1938, que desarrollaron una banda metálica

⁶ Prácticas de instrumentación electrónica: Un enfoque desde la didáctica hasta la aplicación industrial. [en Línea] Recuperado enero 18 de 2015 en: <http://www.epsevg.upc.edu/xic/ponencias/R0220.pdf>.

de conductor muy delgado formando una rejilla plana con el hilo como se muestra en la figura a continuación.

Figura 12. Composición de una galga extensiométrica.



Fuente: Universidad Politécnica de Madrid ETS de ingenieros de camino, canales y puertos.

El problema de las bandas de hilo era su sensibilidad a los esfuerzos transversales. Hay que tener en cuenta que de acuerdo con la ecuación 3

$$K = \frac{dR}{\frac{dL}{L}} = (1 + 2\nu) + C(1 - 2\nu)$$

Ecuación 15. Factor de galga

$$K = \frac{dR}{\frac{dL}{L}} = \frac{\Delta R}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\Delta R}{\epsilon a} \quad (15)$$

Si la banda se deforma en el sentido de su longitud y en sentido transversal, se deben definir entonces las sensibilidades de la banda a deformaciones axiales K_a y a deformaciones transversales K_t ,

Ecuación 16. Variación unitaria de resistencia

$$\frac{\Delta R}{R} = K_a * \varepsilon_a + K_t * \varepsilon_t \quad (16)$$

O definiendo por S_t el factor de sensibilidad transversal $S_t=K_t/K_a$, la expresión (5.5) puede ponerse

$$\frac{\Delta R}{R} = K_a(\varepsilon_a + S_t * \varepsilon_t)$$

Teniendo en cuenta que $\varepsilon_t = -v\varepsilon_a$, resulta:

$$\frac{\Delta R}{R} = K_a * \varepsilon_a(1 - v * S_t)$$

Los valores de K y K_a son idénticos si solo existen deformaciones axiales pero pueden introducirse errores apreciables cuando hay deformaciones transversales, esto se debe a las variaciones de sección en el hilo en la zona de los meandros de la banda extensiométrica cuando existen tensiones normales a la dirección principal axial de la banda. Para disminuir este efecto Saunders y Roe en Inglaterra en 1952 crearon la banda extensiométrica de circuito impreso, que son las más usadas en la actualidad. Para su fabricación se emplean técnicas de foto-corrosión, lográndose, lográndose espesores de $5\mu\text{m}$ y menores. Van provistas de gruesos terminales y admiten, debido al proceso de fabricación empleado, una gama muy amplia de formas y dimensiones que van desde longitudes de 0,20 mm hasta 102 mm, con resistencias nominales de 120Ω , 350Ω , 600Ω , y 1000Ω .

Sensibilidad transversal en estas bandas es muy pequeña debida a que se proyectan de tal modo que la sección en las vueltas de la rejilla es superior a la sección longitudinal, de tal forma que una deformación transversal no modifica prácticamente la resistencia de la banda. Generalmente y como se ha indicado antes el material de las bandas suele ser constantan, que tienen una sensibilidad

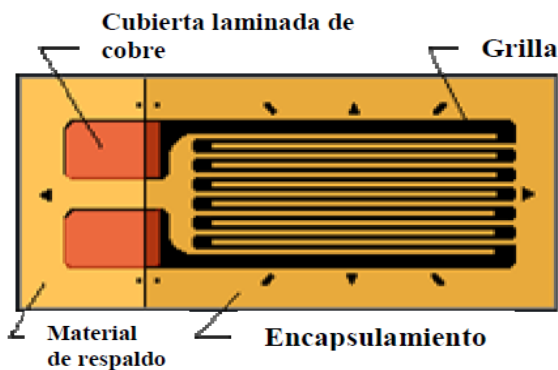
o factor de galga próximo a 2, soportando esfuerzos de rotura entre 20000 y 25000 $\mu\epsilon$, con precisión de 0.1% hasta 10000 $\mu\epsilon$ y del 1% para valores superiores.

A partir del descubrimiento del transistor en 1946, y estudiar las propiedades piezoeléctricas de los semiconductores, Mason y Thurston en 1957 realizaron transductores de gran sensibilidad y se empezaron a comercializar bandas extensiométricas a partir de 1960, con factores de galga comprendidos entre 50 y 175 dependiendo del tipo y cantidad de impurezas introducidos en un cristal puro de silicio. Si se tiene en cuenta que el factor de galga viene definido por la ecuación.

Ecuación 16. Factor de galga en función de los voltajes del puente

$$K = (1 + 2\nu) + C(1 - 2\nu) \quad (16)$$

Figura 13. Esquema de la galga extensiométrica



Fuente: http://www.cad-cae.com/strain_gages.html

Donde $c(1-2\nu) = dp/p/\epsilon_a$ como quiera que un cristal semiconductor con una concentración de impurezas comprendida entre 10^6 y 10^{20} átomos/cm³.

Ecuación 17. Resistividad

$$\rho = \frac{1}{eN\mu} \quad (17)$$

Donde

e = Carga del electrón

N = # de portadores de carga que depende de la concentración de impurezas

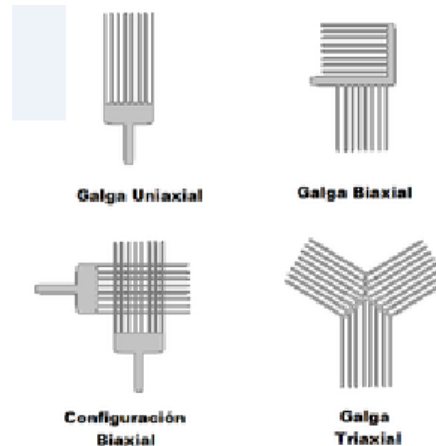
μ = Movilidad de los portadores que depende de la formación y su dirección y su dirección relativa a los ejes del cristal.

El ultimo puede variar entre 125 y 175 dependiendo del valor N y μ (ver ecuación 16) de esta forma las bandas extensiométricas semiconductoras presentan un factor de galga muy elevado que los hace aplicables en la medida de deformaciones extremadamente pequeñas, en transductores miniatura y aquellos que necesitan una señal de salida elevada. Sin embargo la variación de K con la temperatura y su elevado precio hacen que su aplicación sea muy limitada. En la siguiente figura se muestra los aspectos constructivos de galgas semiconductoras. Los factores de galga oscilan entre 50 y 200, con resistencias nominales de 120Ω , precisiones del 1% por encima de $1000\mu\varepsilon$.

Otro aspecto a considerar en las bandas extensiométricas es su configuración. Las más sencillas son uni-axiales en las que la mayor parte del elemento sensible está alineada con el eje respecto al que queremos efectuar la medida. Sirven por lo tanto, cuando se requiere medir deformaciones en una sola dirección muy localizada. Existen también bandas biaxiales, conocidas comúnmente con el nombre de rosetas, sirven para medir deformaciones en dos o más direcciones de la pieza son complejas. Hay rosetas de dos elementos que se utilizan cuando se conocen las direcciones de las tensiones o esfuerzos principales. También hay rosetas de tres elementos que se emplean en aquellos casos en que no estén localizados los esfuerzos principales. Dentro de este grupo deben destacarse las rosetas delta en las que existen tres bandas colocadas a 120° entre sí, las rosetas rectangulares en la que los elementos están alineados a 0, 45, 90 grados, que se

utilizan cuando se conoce aproximadamente la dirección de los ejes principales y las rosetas en T-delta que es una roseta delta a la que se añade una cuarta banda colocada a 90° de una de ellas. En la siguiente imagen podemos ver algunas de las configuraciones que podemos encontrar⁷.

Figura 14. Tipos de configuración de una galga extensiométrica.



Fuente: Universidad Politécnica de Madrid ETS de ingenieros de camino, canales y puertos.

También existen bandas especiales que se utilizan en diferentes transductores. Como se muestra en la figura 14 se muestra una banda de diafragma que se emplea para medir presiones; formada por dos elementos sensibles, uno en sentido radial y otro en sentido tangencial y miden los esfuerzos producidos sobre placas o diafragmas uniformemente cargados. Otro aspecto a considerar en las bandas, es el del material de soporte sobre el que va pegado el hilo sensible o rejilla. En primer lugar el soporte sirve para facilitar el manejo de la banda extensiométrica. Sirve por otra parte para mantener los finos conductores de la rejilla en la dirección apropiada y proporciona soporte a los terminales o apéndices de conexión. Los materiales soporte deben ser buenos aislantes eléctricos a cualquier temperatura de trabajo del extensómetro y también ser buenos aislantes eléctricos a cualquier temperatura de trabajo del extensómetro y también fuertes y flexibles para permitir el fácil pegado de las superficies de perfil variado. Aun

⁷ Ibíd.

cuando la función primaria del soporte ha sido satisfecha a la vez que el extensómetro se ha instalado, juega un papel importante determinando el comportamiento del mismo en relación con la transmisión de las deformaciones. Esto sucede debido a que los movimientos relativos del material deben ser transmitidos a la rejilla a través del soporte.

La transmisión de deformaciones exige un módulo de elasticidad transversal bastante alto a cualquier temperatura de funcionamiento y ausencia de efectos visco elásticos o fluencia en frío. Los aglomerantes nitro celulósicos combinados con un refuerzo de papel delgado, dan lugar a soportes que sirven hasta temperaturas de alrededor de 80° C; estos se han utilizado durante muchos años en los extensómetros denominados de dorso de pape. Las resinas fenólicas o también llamadas bakelitas son ideales, ya que su apretada estructura en forma de retícula no se ablanda a altas temperaturas. Por esta razón, los extensómetros eléctricos con soporte fenólico, han sido utilizados desde hace largo tiempo, cuando las temperaturas de utilización alcanzan los niveles de 200° y 300°C, aun cuando estas resinas se vuelven frágiles después de exposiciones a altas temperaturas⁸.

5.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BANDAS EXTENSIOMÉTRICAS

Las bandas extensiométrica del tipo circuito impreso, están formadas por pequeñas resistencias de valores normalizados a 120Ω, 350Ω, 1000Ω, con precisiones del orden de 0.4% y un factor de galga próximo a 2 t que el fabricante suele facilitar con dos cifras decimales dentro de cada lote o serie de fabricación con una tolerancia de más o menos 1%. Vamos a analizar a continuación otra

⁸Galga extensiométrica. . [en Línea] Recuperado enero 18 de 2015 en: http://es.wikipedia.org/wiki/Galga_extensiom%C3%A9trica

serie de características generales que conviene conocer de las bandas extensiométrica.

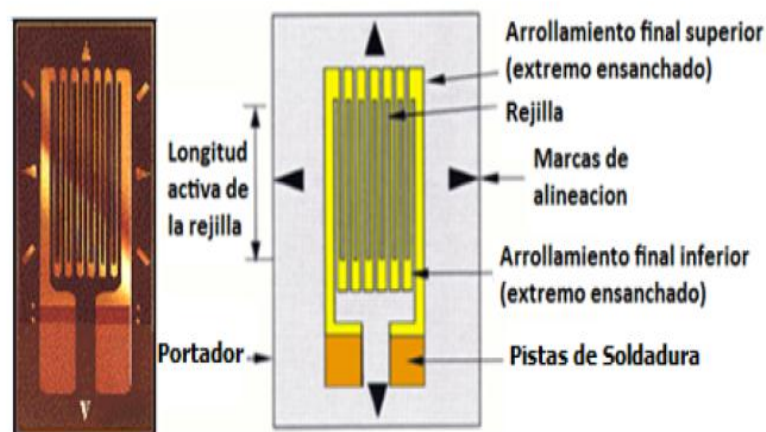
5.5.1 Ancho y longitud de la galga.

Estos dos parámetros hay que tenerlos en cuenta cuando se escoge el sensor para adherirlo al material, por tanto se debe seleccionar un tamaño de galga que este conforme a la dimensión del material.

5.5.2 Resistencia de la galga.

La construcción típica de un medidor de deformación metálico muestra un patrón de hoja metálica que se forma por el procedimiento de fotograbado de una película que previamente ha sido montada en una base plástica de resina flexible. (Ver figura 15).

Figura 15. Construcción de una galga extensiométrica.



Fuente: http://Catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/damaso_p_o/capitulo7.pdf

5.5.3 Factor de la galga.

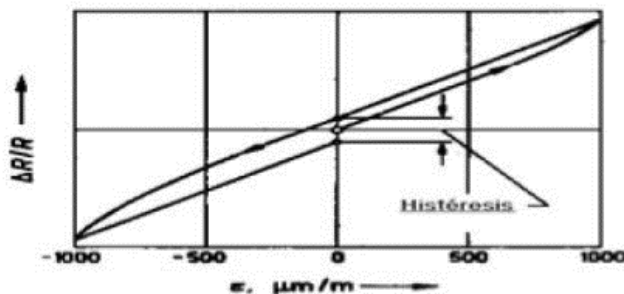
Es una constante GF característica de cada galga, siendo el fabricante quien generalmente proporciona este factor, que determina en función de la aleación empleada para su fabricación.

5.5.4 Histéresis.

Cuando una galga extensiométrica se somete a un ciclo de carga, bien sea de tracción o compresión, se observa a veces, que al descargarla no retorna al valor inicial de resistencia, sino que queda algo por debajo, o algo por encima.

Se conoce como histéresis a la diferencia entre las medidas en reposo realizadas una después de un ensayo de tracción y otra después de un ensayo de compresión, siendo el valor absoluto de la carga aplicada al mismo. Como se muestra en la siguiente figura:

Figura 16. Histéresis ($\frac{\Delta R}{R}$ vs ϵ).



Fuente: MARTINEZ, Manuel Ángel, Medida de la fuerza de empuje de las hélices marinas mediante técnicas de extensiométrica,

La histéresis es un fenómeno en el que intervienen varios factores (adhesivos, elemento portador y el elemento conductor de la galga fundamentalmente). La experiencia demuestra que este fenómeno se reduce si se somete a la pieza de

ensayo a varios ciclos de carga y descarga. La influencia de la histéresis en las medidas hoy en día no tiene por qué ser significativa, dado que actualmente se fabrican galgas extensiométrica que reducen su influencia hasta en valores del orden del 0.05%.

5.5.5 Material del elemento sensible de la galga.

Esta característica nos define el material del que está hecho el hilo conductor o el material semiconductor. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Material del elemento sensible de la galga.

Material	Características	Aplicaciones
Constantán	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas estáticas • Material más usado y muy barato • Autocompensación térmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes elongaciones (estado plástico de deformación)
Isoelastic	<ul style="list-style-type: none"> • Gran relación S/N¹⁴ • Precisan control de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas dinámicas • Medidas de fatiga
Karma	<ul style="list-style-type: none"> • Autocompensación térmica • La soldadura de terminales es compleja 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas a temperaturas bajas • Medidas con temperatura variable o no controlada
Aleación Pt	<ul style="list-style-type: none"> • Coste alto 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas a altas temperaturas

Fuente: http://yboon.net/~cedim/Descargas/CURSOS_MT/245%20-%Clase%2004.pdf

5.5.6 Material de la matriz portadora.

Este material nos define de que está constituido la base portadora de la galga extensiométrica. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Material de la matriz portadora.

Material	Características	Aplicaciones
Poliamida	<ul style="list-style-type: none"> • Es el soporte estándar • No soporta condiciones extremas de trabajo • Espesor habitual de 0.025mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones estáticas • Aplicaciones habituales
Epoxi	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación delicada • Requiere mano de obra especializada 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas precisas
Fibra de vidrio reforzada con epoxi	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta temperaturas moderadas • Soporta muy bien el trabajo a fatiga 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas cíclicas y de fatiga

Fuente: http://yboon.net/~cedim/Descargas/CURSOS_MT/245%20-%Clase%2004.pdf

5.5.7 Fluencia.

La fluencia se caracteriza por la deformación continuada de materiales sometidos a cargas constantes. En el caso de una galga extensiométrica sometido a una carga constante esta tiende, con el tiempo, a modificar su longitud en el sentido de librarse del esfuerzo. Esto puede introducir un error en las medidas cuya magnitud depende básicamente de:

- Forma y tipo de la rejilla de la galga
- Material de soporte del elemento conductor
- Elemento adhesivo utilizando tipo y espesor
- Temperatura (las temperaturas altas favorecen a este efecto y las bajas lo disminuyen)
- Tiempo durante el cual se aplica la carga

Este fenómeno, que puede resultar perjudicial para la medida de deformaciones, en algunos casos como en el de las células de carga, puede contribuir a corregir problemas derivados de la fluencia en el elemento soporte.

5.5.8 Deformación máxima.

El límite de deformación de las galgas depende mucho de las propiedades del elemento conductor, del elemento soporte del adhesivo que se usa, generalmente para galgas del mismo tipo la deformación máxima admisible aunque sus longitudes sean diferentes.

La deformación límite viene indicada en forma porcentual y suele oscilar entre el 0.15% como valores más bajo y el 5% como valor más alto, aunque también se fabrican galgas que alcanzan hasta el 20% y 25%.

5.5.9 Comportamiento a la fatiga.

Cuando una galga es sometida a repetidos ciclos de carga y descarga se va produciendo un deterioro progresivo en el elemento adhesivo, y el respaldo o elemento portador, las conexiones y el elemento resistivo. Como resultado de esto, varía la resistencia sin carga y por ende el factor de la galga.

Las galgas extensiométrica son capaces de soportar entre unos 10^5 y 10^7 ciclos, y sobre todo se debe tener en cuenta que las galgas estándares deben trabajar siempre en su zona elástica.

A su vez su tamaño y forma de las galgas influyen, teniendo mayor resistencia a la fatiga las galgas de mayor tamaño. Esta característica de las galgas debe de tenerse en cuenta, sobre todo cuando las galgas extensiométrica se utilizan en ensayos dinámicos con una frecuencia de carga y descarga elevada, por lo que se hace más aconsejable utilizar galgas elaboradas con técnicas de circuito impreso frente a las de hilo conductor para este tipo de ensayo.

5.5.10 Sensibilidad transversal.

Las galgas están diseñadas para trabajar en una dirección determinada, sin embargo si se producen deformaciones transversales, se puede dar una pequeña variación de resistencia. El fabricante proporciona este valor en forma de porcentaje, suele ser este menor del 1%.

5.5.11 Estabilidad.

Cuando se efectúan medidas durante un prologado lapso de tiempo o se utilizan galgas montadas en piezas con mucha antelación, las condiciones ambientales como son el calor, la luz, la humedad, etc. Pueden degradar las propiedades de la galga, haciendo que el comportamiento de estas se aleje de lo esperado o que incluso lleguen a deteriorarse. Por ello que se recomienda que la galga sea cubierta con una protección de tipo epoxi o silicona, y mejor aún si es de topo opaco.

5.5.12 Influencia de la temperatura.

La temperatura puede afectar al funcionamiento de la galga, si esta varia durante una medida con galga extensiométrica, la deformación real puede derivarse de la deformación medida.

5.5.13 Disipación de calor.

Otro aspecto importante al utilizar galgas extensiométrica es la disipación de calor ya que una galga extensiométrica es un elemento resistivo, formara parte de un circuito eléctrico y por tanto pasara una corriente eléctrica por la galga. Por tanto hay que prestar especial cuidado en cuanto a que la potencia que consume la

galga debido al paso de la corriente eléctrica, y que disipa en forma de calor, sea menor que la potencia que la galga es capaz de transmitir al material sobre el que se ha pegado. De esta forma se evita el sobrecalentamiento de la galga, que podría dar lugar a medidas erróneas o incluso a llegar a quemar la propia galga.

5.6 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LAS GALGAS EXTENSIOMÉTRICA

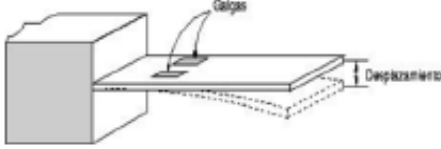
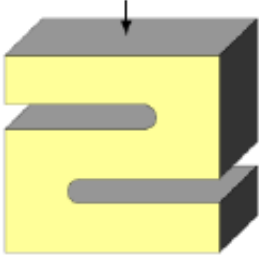
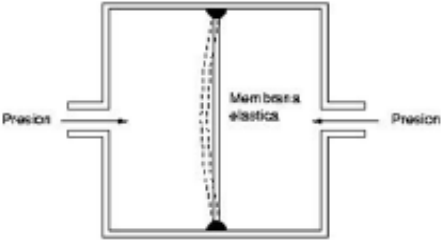
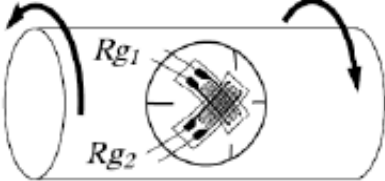
El campo de acción de las galgas extensiométrica es muy extenso, aunque su mayor aplicación la encontramos en las industrias del diseño mecánico y estructural, en donde se es necesario el control riguroso de la deformación sufrida por las cargas que se aplican en las diferentes situaciones de la vida⁹.

5.7 TRANSDUCTORES

Los transductores son aquellas partes de una cadena de medición que transforman una magnitud física en una señal eléctrica. Estos son especialmente importantes para que los medidores puedan detectar magnitudes físicas. Normalmente estas magnitudes, temperatura, presión, humedad, caudal o luz, se convierten en una señal normalizada (p.e. 4 ... 20 mA). Una de sus ventajas incluye la flexibilidad, ya que muchos medidores soportan la transformación de señales normalizadas. Por otro lado, las magnitudes medidas pueden ser leídas a grandes distancias sin prácticamente pérdida alguna. Cuando se usan transductores, la unidad de evaluación debe recibir solo el rango de medición, pues a partir de ahí, se calculan desde las señales eléctricas, las magnitudes eléctricas.

⁹ Prácticas de instrumentación electrónica: Un enfoque desde la didáctica hasta la aplicación industrial. [en Línea] Recuperado enero 18 de 2015 en: <http://www.epsevg.upc.edu/xic/ponencias/R0220.pdf>.

Tabla 3. Transductores equipados con galgas extensiométricas.

ESQUEMA	TIPO DE MEDICIÓN
	<p>Medición de desplazamiento: colocando galgas en lugares adecuados se puede relacionar la deformación que sufre la misma con el desplazamiento de un punto específico del elemento.</p>
	<p>Medición de Fuerza Axial y Peso: es uno de los transductores más utilizados en la industria, su funcionamiento se debe a que se puede relacionar la deformación que sufre la galga con la fuerza y/o el peso que causa dicha deformación.</p>
	<p>Medición de Presión: se puede medir presiones absolutas o manométricas, para lo cual este transductor consta de una cavidad en donde se encuentra colocada una membrana a la que están adheridas adecuadamente las galgas, si existiera una diferencia de presión entre ambos lados de la membrana elástica, esta se flexionara quedando una deformación en la galga que puede ser medida.</p>
	<p>Medición de torque: utilizando una galga de roseta se puede relacionar la deformación sufrida por el material con el torque que produce dicha deformación.</p>

Fuente: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4482/1/UPS-CT001920.pdf>

5.7.1 Características de los transductores.

Cuando se trabaja con transductores, para poder obtener los resultados, es necesario conocer sus principales características

- **Rango**

Expresa los valores extremos de la variable a medir. Hay rango de entrada y otro de salida

- **Curva de calibración**

Se trata de una característica fundamental, pues permite conocer la relación, punto a punto, entre la salida y la entrada. Se obtiene de una calibración estática, es decir, realizada a frecuencia constante. En ocasiones a esta curva experimentalmente para cada transductor.

- **Sensibilidad**

Expresa la relación existente entre la variación de la entrada y la variación de la salida. Se trata, pues, de la pendiente de la curva de calibración. Para un transductor lineal sería una constante.

- **Estabilidad**

Se entiende por estabilidad la capacidad del transductor para mantener constante su curva de calibración con el paso del tiempo.

5.7.2 Acondicionamiento de la señal.

La mayoría de los sensores y transductores generan señales que primeramente se deben acondicionar antes e que un dispositivo de visualización muestre los resultados. Este procesamiento se conoce como acondicionamiento de señal, que incluye funciones como amplificación, filtrado, aislamiento eléctrico multiplexo.

Es así que para la correcta medición con galgas extensiométricas la mayoría de los equipos incluyen tipo de acondicionamiento de señal.

- **Terminación del puente:** esta es una de las principales características que debe poseer el equipo; ya que si se va a utilizar una configuración de $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$ puente, necesariamente se deberá completarlo con resistencia de precisión internas.
- **Excitación:** Las galgas extensiométrica requiere de alguna fuente de poder para realizar la medición, por lo que el equipo debe proveer esa fuente.
- **Amplificación:** La señal que genera las galgas extensiométrica al medir es muy baja, la amplificación se usa para maximizar la efectividad del equipo, es decir se mejora la precisión y resolución de la medida.
- **Filtrado:** El filtro es necesario para remover cualquier componente de frecuencia no deseada en la señal de medición, principalmente para prevenir y reducir el ruido eléctrico.
- **Aislamiento eléctrico:** Las señales de voltaje fuera del rango del equipo pueden dañar el sistema de medición y ser peligrosas para el operador. Por esta razón, normalmente es preciso que el equipo tenga aislamiento y la atenuación para proteger al sistema y al usuario de voltajes de alta tensión o picos.
- **Multiplexeo:** Permite enviar secuencialmente un cierto número de señales a un solo digitalizador, logrando así un sistema de bajo costo y extendiendo el número de conteo de señales de un sistema.¹⁰

5.8 CIRCUITOS DE MEDIDA

De acuerdo con la deformación ε medida por una banda extensiométrica de factor K y resistencia R , cuando experimentan una variación ΔR es:

Ecuación 18. Deformación

¹⁰Transductores. [en Línea] Recuperado enero 18 de 2015 en: <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>

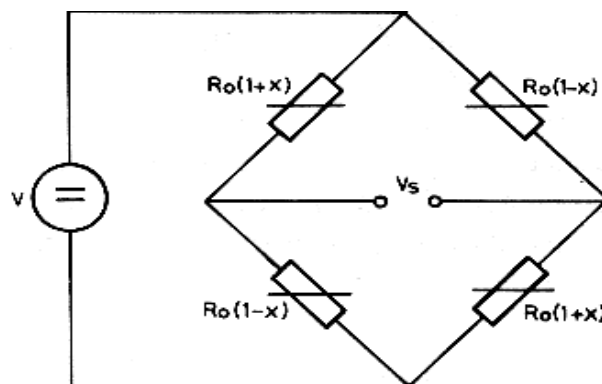
$$\varepsilon = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R} \quad (18)$$

Para una banda típica con $K= 2$ y $R= 120\Omega$ que detecte una deformación de 10^{-6} corresponde a una variación de resistencia ΔR :

$$\Delta R = KR\varepsilon = 2*120*10^{-6}= 0.00024$$

Lo que supone un cambio en la resistencia de 0.0002%. Obviamente para medir cambios tan pequeños, se deberán utilizar circuitos de medida muy sensibles, teniendo especial cuidado en la compensación de magnitudes de influencia: interferencia electromagnética, temperatura, etc. Los cables se procuraran que sean apantallados para evitar inducciones externas y el puente dispondrá de la conexión a tres hilos para reducir los efectos de los cables de unión. El circuito de medida básico empleado en extensiométrica es el puente de Wheatstone (Ver figura 5.17). Si inicialmente las cuatro resistencias son iguales y de valor R_0 , el puente estará en equilibrado, entonces al variar estas, se obtendrá una variación de tensión.

Figura 17. Puente Wheatstone.



Fuente: <http://celdasdecarga.blogspot.com/2013/02/funcionamiento-de-las-bandas.html>

5.8.1 Montaje en ¼ de puente.

Se dice que un montaje está realizado en ¼ de puente, cuando de las cuatro resistencias del mismo, solamente una es variable, manteniéndose las otras tres, con los valores fijos del equilibrado inicial. Como se muestra en la siguiente figura con el esquema del circuito en el que la resistencia 2 del puente es la resistencia del transductor. Inicialmente cuando el transductor no está sometido a ninguna acción externa, su resistencia coincide con las demás del puente, es decir $R_1=R_3=R_4=R_t=R_o$, de este modo el puente está equilibrado. Si la banda extensiométrica sufre una variación positiva o negativa de valor ΔR la variación es positiva ya que la probeta donde se ha colocado la galga está sometida a tracción. (Ver figura 18).

Y teniendo en cuenta la configuración del circuito eléctrico se puede establecer la ecuación para la deformación que es la siguiente:

Ecuación 19. Deformación para ¼ de puente

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R_o} = \frac{1}{K} \frac{4mv}{E_s} = \frac{\Delta L}{L} \quad (19)$$

Para este caso teniendo en cuenta la ley de Hooke, podemos obtener la tensión unitaria:

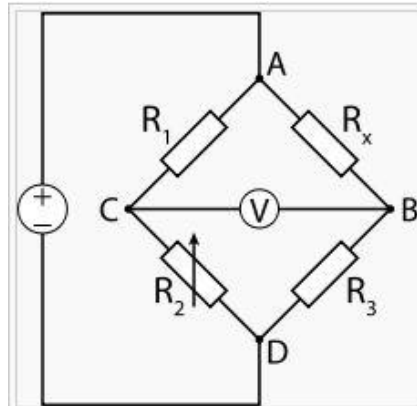
$$\sigma = E\varepsilon \quad (5.12)$$

Donde la ΔL representa la deformación de la estructura y ΔT representa el incremento o variación de temperatura en la banda. Si se tiene en cuenta la definición de facto de galga.

Ecuación 20. Relación entre factor de galga (k) y sensibilidad (s)

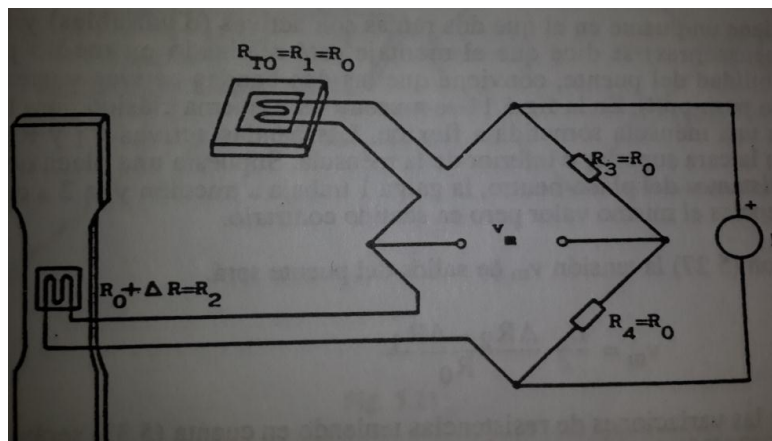
$$K = \frac{dr}{\frac{R_0}{L}} = \frac{L}{R_0} \frac{dR}{dL} = \frac{L}{R_0} S \quad (20)$$

Figura 18. Configuración de $\frac{1}{4}$ de puente.



Fuente: <https://sites.google.com/site/tecnologiahindustrialmiguel/tema-15>.

Figura 19 $\frac{1}{4}$ de puente Wheatstone en el montaje.



Fuente: <http://www.epsevg.upc.edu/xic/ponencias/R0220.pdf>.

6. PROCEDIMIENTO PARA EL PEGADO DE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

6.1 INTRODUCCIÓN

La acción completa de los adhesivos ocurre a través de una reacción catalítica de la humedad absorbida del aire. Las condiciones más favorables para adhesión son bajo valores de humedad relativa (HR) de entre 30% y 80%. Con una HR de menos de 30%, la reacción se retarda notablemente y en casos extremos se detiene. Con valores de HR mayores a 80% se presenta un fenómeno que reduce la vida máxima de la adhesión. Por esta razón se deben observar estos límites de humedad relativa.

Una adhesión óptima sucede cuando el adhesivo se aplica en capas muy finas. Capas gruesas requieren más tiempo para secar o nunca se secan, por lo tanto, superficies muy burdas deben ser evitadas y el proceso de aplicación del adhesivo debe seguirse fiel y cuidadosamente.

La velocidad de la adhesión completa depende de la condición química del material se va a hacer la aplicación (Ver tabla 4). Los materiales alcalinos, aceleran la polimerización, mientras que materiales ácidos no solo retardan sino pueden evitar del todo la adhesión. En cualquiera de estos casos se pueden usar procedimientos para neutralizar el pH de la superficie. A continuación daremos los tiempos de secado dependiendo del material.

Tabla 4. Tiempos de secados mínimos.

Material	Tiempo de secado
Acero	60 a 120 seg.
Aluminio	50 a 1000 seg.
Plásticos	10 a 60 seg.

Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galgas.pdf>

6.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

El objetivo de la preparación del material es crear una superficie limpia, libre de imperfecciones físicas mayores y químicamente apropiadas.

6.3 LIMPIEZA BURDA

Se debe eliminar todo tipo de pintura, corrosión, oxidación, o cualquier otro contaminante que pueda haber en el área de adhesión de las galgas, mas un área de tolerancia.

6.4 SUAVIZAR LA SUPERFICIE

Cualquier tipo de protuberancia, canales o imperfecciones mecánicas debe ser eliminada por un proceso de pulido, limado, cepillado o lo que sea necesario para el caso.

6.5 ELIMINAR GRASAS

Este procedimiento se requiere para eliminar todo tipo de aceites, grasas, contaminantes orgánicos y residuos de productos químicos solubles.

La elección del agente de limpieza depende de la naturaleza del contaminante y si la superficie puede ser deteriorada por el limpiador. Entre las opciones más comunes están la acetona, el alcohol isopropilico, desengrasantes por vapor, tricloroetileno y otras sustancias químicas más especializadas. El procedimiento de limpieza consiste en empapar una gasa en el agente limpiador y lavar la superficie cubriendo inicialmente un área mayor a la deseada.

- El agente limpiador debe estar químicamente limpio y no debe dejar residuos
- Nunca usar el agente limpiador directamente del recipiente donde se almacena. Una cantidad adecuada debe traspasarse a un recipiente limpio del cual se usara
- Cada gasa usada debe ser desechada y nunca introducir una gasa usada en el recipiente con el agente limpiador.
- Porciones del agente limpiador sin usarse deben desecharse.
- El área limpiar debe ser bien delimitada y avanzar progresivamente en esa zona hasta cubrirla completamente sin regresar a limpiar nuevamente para evitar introducir nuevas partículas sucias a la zona limpia.

6.6 LIJADO

La adhesión entre dos superficies depende del área de las superficies que se cubre con el adhesivo. Un buen pulido fino de las superficies aumenta la adhesión. Porque aumenta el área de contacto efectiva. Para acero se recomienda lijas del número 80 al 180 y para aluminio del número 220 a 360. Para evitar hacer canales en el material este procedimiento debe hacerse en movimientos circulares y de preferencia usando primero un papel de lija grueso y después uno fino.

6.7 LIMPIEZA FINA

Cualquier residuo de lija, material o polvo generado en el proceso anterior debe ser eliminado cuidadosamente. Se pueden usar los mismos métodos usados en el punto 6.5. Tome cada gasa empapada con pinzas de punta finas y pásela por la superficie una sola vez. Este procedimiento debe ser repetido una y otra vez hasta que la gasa no muestre señas de decoloración al pasarla por la superficie. La

superficie debe dejarse seca y libre de residuos de gasa. Además que se debe cuidar no soplar o respirar cerca de la superficie y evitar tocarla.

6.8 MARCAR LA SUPERFICIE

La superficie del espécimen donde se van a aplicar las galgas debe marcarse ligeramente para poder alinear las galgas según la dirección del esfuerzo principal a medir. Utilícese un lápiz 4H para aluminio y un bolígrafo para acero y hacer unas ligeras marcas en el lugar de aplicación de las galgas.

6.9 ALCALINIDAD ÓPTIMA

Si es el caso, la superficie debe ser tratada para poner su valor de alcalinidad de 7 a 7.5 pH. Se aplica un neutralizador líquido libremente sobre la superficie limpia, se talla y seca con gaza o con palillos con punta de algodón. Tallar y secar debe hacerse siempre en una sola dirección y sin reusar el algodón o gaza.

Si los procedimientos anteriores se han seguido con atención y cuidado, la superficie esta ya lista para que las galgas se adhieran. A partir de este momento las galgas deben ser adheridas tan pronto sea posible para minimizar contaminación o la degradación de la galga por factores atmosféricos.

6.10 ADHESIÓN DE LAS GALGAS

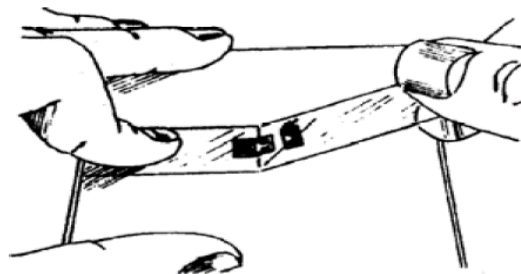
6.10.1 Posicionamiento de la galga.

Tome la galga con unas pinzas finas y colóquela en una superficie químicamente limpia con la superficie de adhesión hacia abajo. Si va a usar terminales para

soldad se recomienda colocarlas a 1.6 mm del límite de la galga y alineadas en el centro.

Tome un pedazo de cinta adhesiva de unos 10 o 15 cm de largo y póngalas sobre la galga y terminal de tal manera que queden centradas en la cinta. Levante la cinta cuidadosamente en un Angulo de aprox. 45° de la superficie, trayendo consigo la galga y terminal adheridas, como lo muestra la siguiente figura.

Figura 20. Posicionamiento de la galga en la probeta.

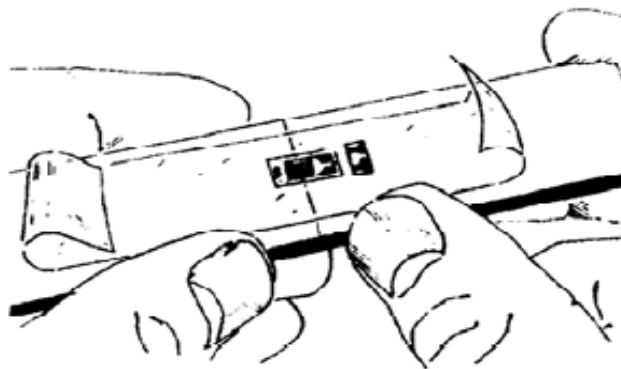


Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galgas.pdf>

6.10.2 Alineación de la galga.

Posicione la cinta con la galga y terminal en el espécimen de tal manera que las marcas de alineación coincidan con las marcas la probeta y pegue firmemente un extremo de la cinta como se muestra en la figura.

Figura 21. Alineación de la galga en la probeta.

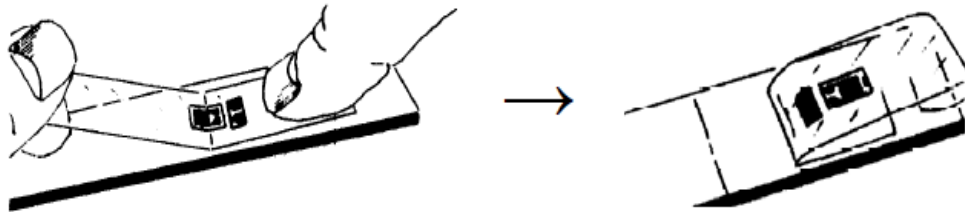


Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

6.10.3 Preparación final.

Levante la cinta con la galga en un ángulo hasta que la terminal quede aproximadamente 1 cm libre. Doble la cinta sobre sí misma y pegue el otro extremo sobre la superficie del espécimen de tal manera que la galga y el terminal queden expuestas en una superficie plana con la parte a adherida hacia arriba (Ver figura 6.3).

Figura 22. Disposición de la galga antes de aplicar el adhesivo.



Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

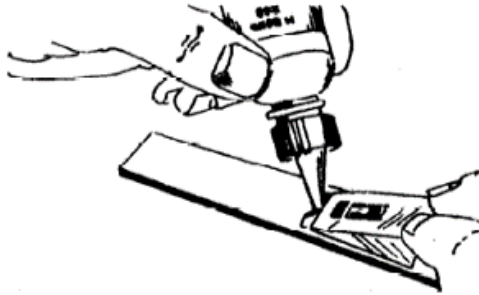
- Nota 1: se deben revisar las especificaciones del fabricante para saber si la galga misma requiere de limpieza en la superficie de adhesión. Si la gaga ha sido contaminada entonces debe ser limpiada con algodón y un neutralizador.
- Nota 2: Los siguientes tres pasos deben ser realizados en la secuencia mostrada y en un lapso de 3 a 5 segundos.

6.10.4 Aplicación del adhesivo.

Levante la cinta del lado que ha sido doblada sobre sí misma. Tomando la cinta sin jalar ni doblar. Aplique una o dos gotas de adhesivo en la unión de la cinta con el espécimen a aproximadamente 1 cm de la periferia de la galga con terminal (Ver figura 23). Esto permite que la polimerización instantánea del adhesivo al

contacto con el espécimen no provoque imperfecciones en la homogeneidad y uniformidad de la película de adhesivo.

Figura 23. Aplicación de adhesivo.

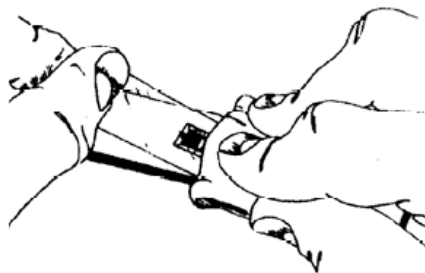


Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

6.10.5 Adhesión.

Inmediatamente desdoble la cinta para quedar aproximadamente 30° de la superficie del espécimen con la galga y terminal haciendo un puente sobre el lugar de instalación. Mientras se sostiene la cinta con una ligera tensión, aplique una presión deslizando con sus dedos y un pedazo de gasa que vaya oprimiendo la galga y terminal sobre su posición y alineación deseada (ver figura 24). Use una presión firme al recostar la galga sobre su posición ya que requiere una película muy delgada y uniforme de adhesivo para resultados óptimos.

Figura 24. Adhesión de la galga en la probeta.

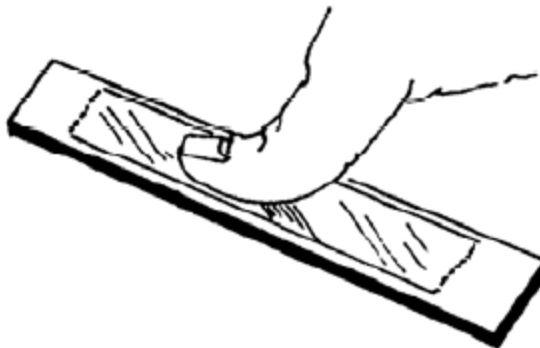


Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

6.10.6 Aplicación de presión.

Inmediatamente de la acción deslizante y ya con la galga en su posición y alineación correctas, aplique una presión firme con el dedo pulgar sobre la galga y terminal. Esta presión se debe ejercer por lo menos por espacio de un minuto (Ver figura 25). En condiciones de humedad baja o en temperaturas menores a 20°C la presión debe extenderse a varios minutos, dependiendo de las condiciones. Cuando se tienen las galgas de tamaño grande o superficies no uniformes puede requerirse de un dispositivo mecánico para aplicar la presión, por lo que también se requiere aplicar presión por más tiempo. El calor del dedo humano ayuda a una rápida polimerización del adhesivo. Espere por lo menos dos minutos para quitar la cinta después de retirar la aplicación de presión.

Figura 25. Aplicación de presión y calor.

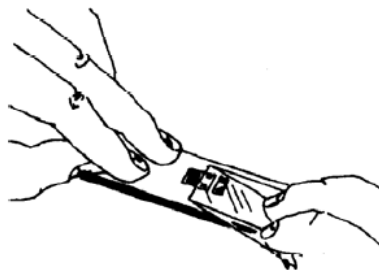


Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

6.10.7 Retirar la cinta.

La galga y terminal ya deben estar firmemente adheridas al espécimen. Para retirar la cinta, júlela directamente sobre si misma de forma continua y lenta para evitar ejercer fuerzas innecesarias sobre la galga (Ver figura 26). Realmente no es necesario retirar la cinta inmediatamente después de la instalación y puede permanecer como protección mecánica hasta que se vaya a proceder a soldar.

Figura 26. Retirar la cinta de la galga.



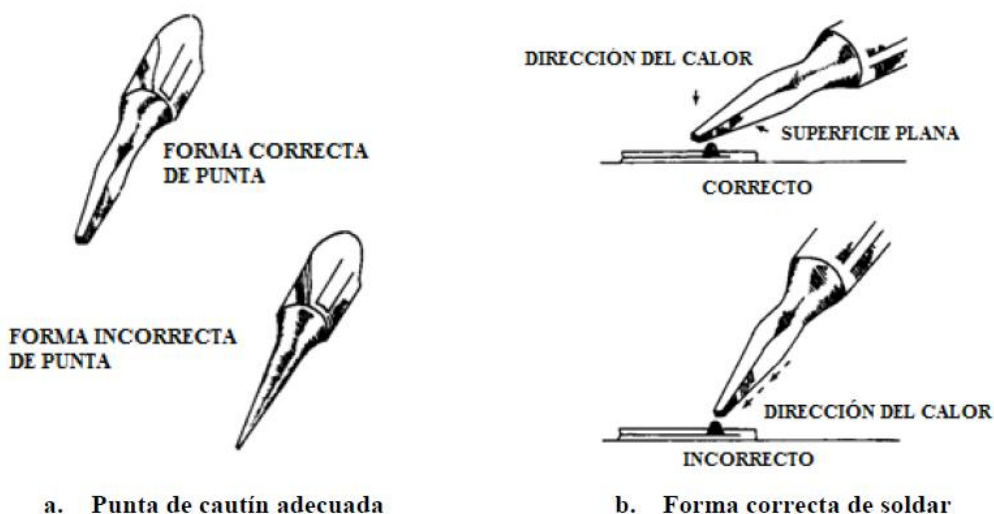
Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

6.11 PROCEDIMIENTOS PARA SOLDAR

6.11.1 herramienta y técnica para soldar.

Se debe cuidar que la punta del cautín sea de determinación plana o tipo desarmador plano y que se soldé usando la parte plana. Se debe cuidar que se tenga una temperatura adecuada en el cautín y que no se haga contacto con la terminal de la galga por más un segundo.

Figura 27. Consideraciones del cautín.



a. Punta de cautín adecuada

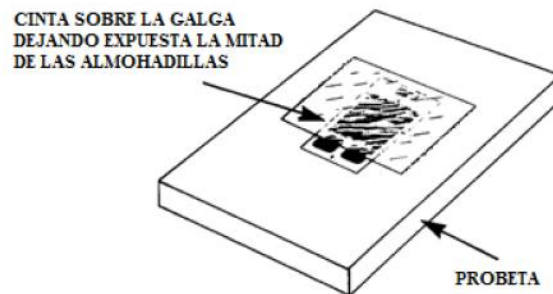
b. Forma correcta de soldar

Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

6.11.2 Procedimiento para soldar.

Este proceso debe realizarse con cuidado para evitar cualquier eventual daño a la galga. Como paso previo a soldar cables a las galgas a soldar y las terminales deben ser recubiertos de soldadura para obtener una mejor transferencia de calor y una soldadura más rápida y nítida. En el caso de tener galgas con cinta adhesiva, dejando la mitad de las terminales de la galga expuestas para soldar (Ver figura 28).

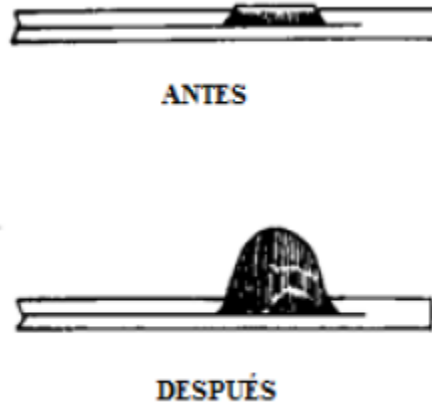
Figura 28. Protección adicional a la galga antes de soldar.



Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

Procure usar un caudín con temperatura controlada. Temperaturas muy altas tienen a oxidar la punta y a evaporar instantáneamente la pasta de soldar lo cual hace la operación más difícil. Se recomienda fijar el cable a soldar con una cinta adhesiva también para tener los cables a soldar en el lugar correcto y dispone de ambas manos para soldar. Coloque el caudín a un ángulo de 30°C o menor sobre el terminal de la galga y cable y al mismo tiempo alimente aproximadamente m de soldadura.

Figura 29. Forma ideal del montículo de soldadura.



Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

Al terminal levante simultáneamente la punta del caudín y la soldadura. La soldadura debe ser de la que contiene flujo antioxidante en su interior. El procedimiento de soldado de cada terminal debe durar aproximadamente 1 segundo. La soldadura debe quedar como un pequeño montículo sobre la terminal y la punta del cable y debe tener un aspecto suave y brillante. Debe evitarse picos y soldaduras opacas.

6.12 RECUBRIMIENTOS DE PROTECCIÓN

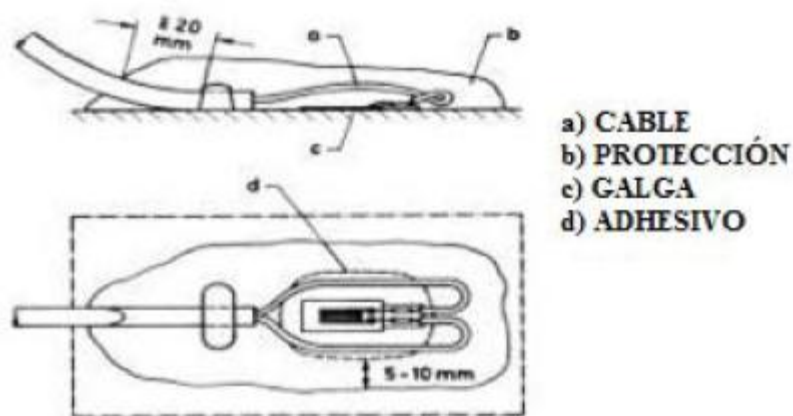
Para evitar deterioro debido a la humedad, aceites efectos mecánicos, etc., las galgas y sus conexiones eléctricas deben protegerse (Ver figura 30). Los sistemas de protección varían dependiendo del medio en que se sitúen las galgas y es necesario estudiar cada caso en particular.

Los principios efectos que se manifiestan debido al deterioro de las galgas por mala protección vienen dados por la variación de la resistencia en el aislamiento, lo cual se produce, a su vez, desajustes en el cero de las medidas.

Es interesante recordar que no solamente deben protegerse las galgas extensiométricas; hay que tener en cuenta también los cables de conexión, que pueden deteriorarse e influir sustancialmente en los resultados de las medidas.

Existen a su vez gran variedad de agentes protectores, barriles de silicona, grasa de silicona, resinas epoxi, tiras adhesivas, etc. A continuación podemos observar un ejemplo de protección de una galga extensiométrica con un recubrimiento sencillo.

Figura 30. Protección de la galga extensiométrica.



Fuente: <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/galga.pdf>

6.13 COMPROBACIÓN DEL MONTAJE DE LA GALGA

Una vez colocada la galga, es necesario comprobar el correcto montaje, para lo cual se debe verificar los siguientes aspectos:

- Existencia de burbujas de aire o extremos mal pegados
- Existencia de residuos fundentes.
- Calidad de las conexiones eléctricas
- Errores de posicionamiento
- Continuidad eléctrica

- Aislamiento

7. GUIA DE USO DEL EQUIPO DE MEDICION



DP41-B
Universal Input Meter

7.1 DP-41B

7.1.1 Descripción.

Controlador e indicador para temperatura y señales de proceso de muy alta precisión. OMEGA entra en la gama BEYOND INFINITY con el modelo DP41-B. OMEGA® INFINITY ha fijado el estándar mundial de precisión, rendimiento y calidad en los medidores de panel digitales. El DP41-B levanta todavía más el listón, con un grado de precisión de hasta $\pm 0,005\%$ de lectura y hasta 142 lecturas por segundo. Además, es extremadamente versátil y transmite una gran variedad de rangos de tensión y corriente CC, 9 tipos de termopares, múltiples RTD y señales desde los transductores del calibrador de tensión como celdas de carga y transductores de presión, así como entradas potenciométricas. Cuenta con un linealización de 10 puntos de señales de entrada programables por el usuario. Otras características estándar incluyen la excitación incorporada para alimentar

prácticamente cualquier sensor o transmisor y 4 salidas de colector abierto aisladas para control o alarmas. La gran, brillante y patentada pantalla LED de 6 dígitos puede programarse para cambiar el color a ROJO, ÁMBAR y VERDE en cualquier punto de referencia. Los dígitos son un 58% más grande que los de otras pantallas típicas. Las opciones de salida incluyen tensión analógica o corriente programable aislada y 4 relés.

7.1.2 Pantalla a color programable.

El DP41-B tiene pantallas a color totalmente programables. La pantalla puede programarse para cambiar el color en cualquier punto de referencia o de alarma (Ver figura 7.1). Por ejemplo, se puede usar el VERDE durante el calentamiento, cambiar a ámbar para el rango de funcionamiento normal y elegir el ROJO para señalar una condición de alarma. Los cambios de color son visibles a distancia, lo que permite al usuario reaccionar frente a condiciones cambiantes. Los colores pueden programarse para volver a cambiar cuando el valor vuelva a caer por debajo del punto de alarma o para "asegurar" que ha sido reiniciado por el operador.

El instrumento también puede mostrarse en un único color que no cambia: verde, ámbar o rojo. Esto permite al operador identificar los valores del proceso en 3 ubicaciones separadas o mostrar 3 mediciones diferentes como temperatura, presión y caudal.

7.1.3 Entradas universales.

El DP41-B ofrece una gran selección de entradas de señal, seleccionables a través del pulsador de menú del panel frontal o mediante comunicaciones en serie o Ethernet. El DP41-B maneja 9 tipos de termopar: DIN K, J, T, E, R, S, B, N, y J.

Los algoritmos patentados de linealización de termopar generan una precisión muy alta.

El DP41-B trabaja con una amplia selección de RTD. Maneja curvas Pt 0,00385 y 0,00392, cualquier NIST de 6 a 6000 Ω o DIN Pt y cualquier RTD lineal (10 Ω Cu, etc.). La elección de conexiones RTD de 2, 3 o 4 cables asegura una alta precisión.

El OMEGA® DP41-B mide el proceso de tensión en rangos de 0 a 100 mV, 0 a 1V, 0 a 10V, 0 a 100V (unipolar), ± 50 mV, ± 500 mV, ± 5 V, ± 50 V (bipolar), y procesa la corriente de 0 a 20mA o 4 a 20 mA.

El DP41-B mide entradas desde celdas de carga, transductores de presión y la mayoría de sensores del calibrador de tensión. La entrada puede linealizarse sobre 10 puntos en rangos de 0 a 100 mV, 0 a 1V, 0 a 10V, 0 a 100V (unipolar), ± 50 mV, ± 500 mV, ± 5 V, y ± 50 V (bipolar), además de 0 a 20 mA. La excitación para transductores de 10 y 24 V es estándar.

La salida analógica opcional cubre un rango de 0 a 10 Vcc o de 0 a 20 mA, seleccionable como una retransmisión calibrada del valor del proceso. El DP41-B cuenta con excitación incorporada. Los usuarios pueden capturar y visualizar los niveles máximos y mínimos de las señales de entradas, útiles en dichas aplicaciones como pruebas destructivas y de presión. Hay cinco niveles diferentes de excitación para sensores como transmisores (24 Vcc @ 25 mA), calibradores de tensión (1,5 a 10 Vcc hasta 60 mA máx.) y potenciómetros de hilo (1,25 Vcc @ 30 mA).

7.1.4 Características.

Precisión: $\pm 0,005\%$ de lectura

Intervalo del coeficiente de temperatura: ± 20 ppm

Alimentación: 90 a 240 Vca o 10 a 32 Vcc

Rechazo en modo normal: 60 dB

Rechazo en modo común: 120 dB

Tensión en modo común: 1500 Vp por prueba Hv

Resolución: 24 bits

Frecuencia de lectura: de 7 a 142 muestras por segundo

Pantalla: Rojo/ámbar/verde, 6 dígitos, 9 segmentos; 17,3 de altura x 10,2 mm de ancho (0,68 x 0,40"); 4 indicadores de alarma; °C, °F y K

Corte del panel: 45 de alto x 92 mm de ancho (1,8 x 3,6"); 1/8 DIN

Salidas de punto de referencia: 4 colectores abiertos aislados; disipador definido a 150 mA en 1V; 30 V abiertos

4 opciones de relé: dos relés 5A y dos 3A; forma de "C", SPDT

Salida analógica: 0 a 5V/1 a 5V/ 0 a 10V/0 a 20 mA/4 a 20 mA, seleccionable por el usuario; aislamiento de 354 Vp; 14 bits de resolución; 0,1% de precisión; 6 ms de respuesta gradual

Ethernet: cumplimiento de los estándares IEEE 802.3 10 Base-T

Protocolos: TCP/IP, ARP, HTTPGET RS232/RS422/RS485/simulación telnet/tunneling

MODBUS: seleccionable desde el menú

Rangos de entrada de tensión: 0 a 100 mV, 0 a 1 V, 0 a 10 V, 0 a 100 V, ± 50 mV, ± 500 mV, ± 5 V, ± 50 V

Rangos de entrada de corriente: 0 a 20 mA, 4 a 20 mA

Polaridad: unipolar/bipolar, programable

Tipos de entrada de termopar: DIN J, K, T, E, R, S, B, N, J

Entrada RTD: cualquier NIST de 6 Ω a 6 k Ω o DIN de platino y cualquier RTD lineal

Conexión RTD: 2, 3 o 4 cables

Excitación del sensor: 10 V a 30 mA; 24 V a 25 mA

Figura 31. Configuración de colores del display.

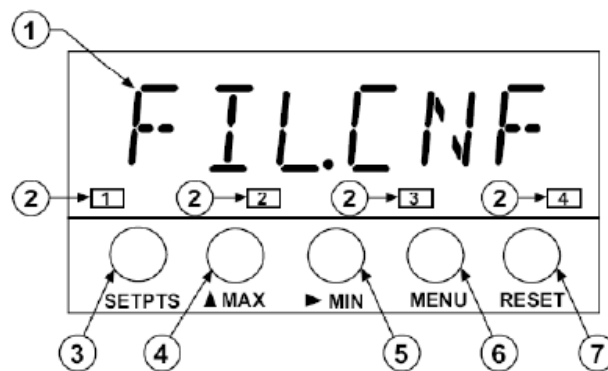


Fuente: Guía de usuario del equipo dp-41b de la marca omega

7.1.5 Partes del medidor.

La siguiente es una breve descripción de cada parte del frente del medidor (Ver tabla 5).

Figura 32. Vista frontal del equipo.



Fuente: <http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M1291.pdf>

Tabla 5. Detalle de los componentes del medidor

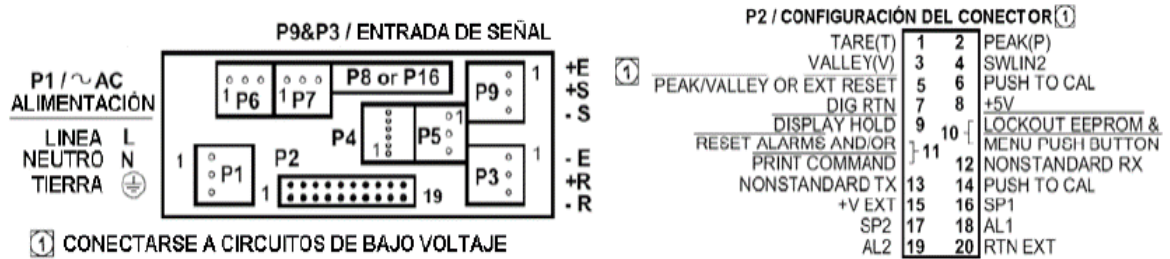
Ítem	Descripción
1	-. 8.8.8.8.8. o 8.8.8.8.8.8. 6 dígitos, 14 segmento, alfanuméricos, 0.54"de altura con pantalla LED punto decimal programable.
2	SETPOINT LED Estos LEDs, etiquetados del 1 al 4, muestran el estado de los puntos de ajuste 1, 2, 3 (Alarma 1) y 4 (Alarma 2).
3	SETPTS BUTTON Este botón funciona solamente en modo de ejecución. Al pulsar este botón secuencialmente recuerda los ajustes de punto de referencia anterior a la pantalla.
4	▲ /MAX BUTTON Durante el modo de configuración, el botón 'MAX' se utiliza para cambiar el valor numérico del dígito mostrado de 0 a 9. Para elementos de submenú, como "LIC.1 = 0", al pulsar el botón 'MAX' cambia la opción de "0" a "1".
5	► /MIN BUTTON En el modo de configuración, una vez en un submenú el botón 'Min' le permite desplazarse por las opciones disponibles tales como, 0-20 mA o 4-20 mA, entre otras. En el modo setpoint, el botón 'Min' avanza el dígito a la derecha.
6	MENU BUTTON En el modo de ejecución, este botón termina la medición del proceso y permite entrar en el modo de configuración, avanzando a través de los menús.
7	RESET BUTTON En el modo de ejecución, al pulsar una vez el botón "RESET" se borra la memorias de picos ("HI RDG"), valles ("LO RDG"), ALARMA y la pantalla vuelve al modo de ejecución.

Fuente: <http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M1291.pdf>

7.1.6 Vista Posterior del medidor.

En la siguiente figura se puede observar todos los conectores que tienen en el dispositivo.

Figura 33. Conectores del equipo.



Fuente: <http://es.omega.com/Temperature/pdf/DP41B.pdf>

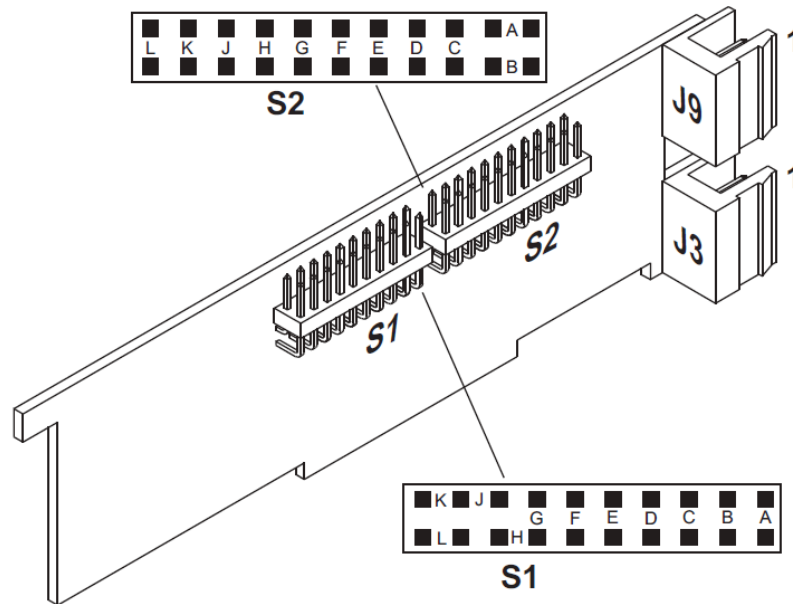
7.1.7 Métodos para escalar el medidor para visualizador en unidades de ingeniería.

Esta sección permitirá escalar el dispositivo para visualizar las mediciones en las unidades deseadas de ingeniería. Este medidor es capaz de expresar todas las unidades de ingeniería de hasta 6 dígitos, independientemente del punto decimal. A pesar de que se trata de un medidor de galgas extensiométricas también es capaz de trabajar con alta tensión, entradas de corriente y de potencia.

7.1.8 Configuración de puentes.

Esta sección es para la configuración y setup de las posiciones de los puentes para la lectura de escala unipolar o bipolar en la señal de entrada, señales de entrada de los sensores en puente, sensor de excitación de los puentes. (Ver figuras 34 y 35)

Figura 34. Módulos de puentes.

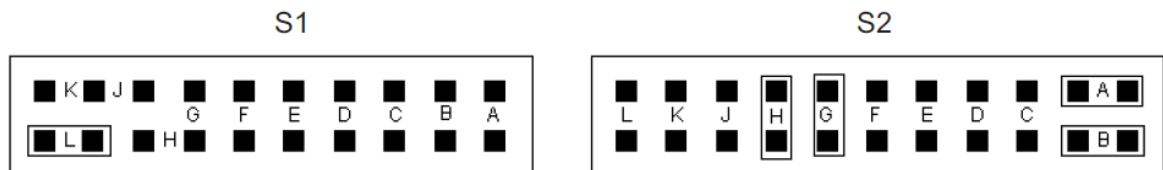


Fuente: Guía de usuario del equipo dp-41b de la marca omega.

- **Seleccione correctamente los puentes del medidor**

Para 50mV, 0-100mV con la excitación interna de S1 (L) y en S2 (A,B,G,H), que son los puentes que se utilizarán para funcionar en puente Wheatstone.

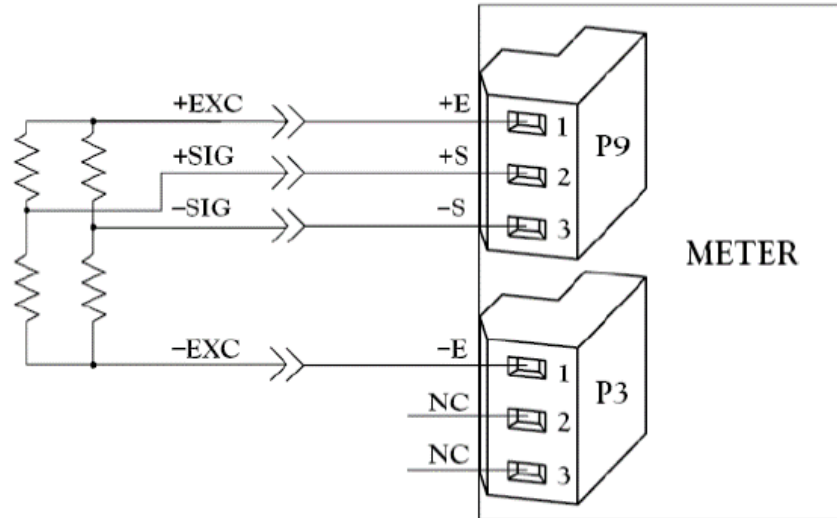
Figura 35. Configuración de puentes (Jumpers).



Fuente: Guía de usuario del equipo dp-41b de la marca omega

- **Conecte los cables de los transductores, como se muestra en la figura**
 Compruebe siempre la excitación del medidor del medidor antes de cablear al medidor.

Figura 36. Cableado del sensor al medidor.



Fuente: Guía de usuario del equipo dp-41b de la marca omega

7.1.9 Calibración mediante la simulación de una carga conocida.

Antes de simular una carga conocida debe configurar la unidad como se muestra a continuación.

Al pulsar el botón menú este le llevara a través de todos los diferentes menús que figuran a continuación. Cuando usted ingresa al menú y desea elegir algún submenú 1, pulse el botón min. Para realizar una selección, en el submenú 1, presione el botón max y escriba su selección pulsando el botón menú. Al presionar una vez el botón reset trae de nuevo al menú anterior y, al pulsarlo por segunda vez que vuelve al modo de ejecución

Continúe con el diagrama de flujo por debajo e ingrese los valores que figuran en las columnas del submenú 1 y 2.

Tabla 6. Configuración de la interfaz.

MENÚ	SUBMENÚ 1	SUBMENÚ 2	DESCRIPCIÓN
L1CNF			Saltar paso
L2CNF			Saltar paso
L3CNF			Saltar paso
L4CNF			Saltar paso
INPUT	BRIDGE		Entrada del medidor
RDG.CNF	RDG.1 = 0 RDG.2 = 0 RDG.3 = 0 RDG.4 = 1 RDG.5 = RDG.6 = RDG.7 = 0		Calibración: $y = mx + b$ Activa el punto decimal Brillo normal de la pantalla Suprimir ceros a la izquierda Hacer caso omiso Hacer caso omiso Restablece el valor máximo
RDG SC	0.00200		Ver calculo anterior
RDG OF	0000000		
IN CNF	INP.1 = 0 INP.2 = 0 INP.3 = 0 INP.4 = 0 INP.5 = INP.6 = 0 INP.7 = 1		60 Hz de corriente alterna Lectura lenta (S1A omitido) Entrada unipolar (S1B omitido) Selecciona la entrada (Puente) Hacer caso omiso Deshabilita IN.SC.OF Entrada radiométrica
IN.SC.OF			Saltar paso
DEC PT	FFFF.FF		Posiciona el punto decimal
CNT BY			Presione "RESET" dos veces para retornar al modo menú

Fuente: <http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M1291.pdf>

Ahora se está en el modo de ejecución y el transductor está conectado al medidor, simule el transductor sin carga y anote la lectura que aparece en la pantalla.

Suponga que la pantalla muestra "1.25". Para hacer la pantalla indique ceros debe ir al menú "RDG DE" e introduzca el valor "-001,25". Una vez introducidos estos valores se debe pulsar Menu para almacenar y, a continuación pulse el botón Reset boto dos veces para volver al modo ejecución. La ampliación se ha completado.

7.1.10 Calibración mediante la simulación de una carga conocida.

Antes de simular una carga conocida debe configurar la unidad como se muestra a continuación.

Al pulsar el botón menú este le llevara a través de todos los diferentes menús que figuran a continuación. Cuando usted ingrese al menú y desea elegir algún submenú 1, pulse el botón min. Para realizar una selección, en el submenú 1, presione el botón max. Si el submenú tiene más de una opción, utilice el botón min para desplazarse al siguiente ítem y usar nuevamente el botón max para hacer selección.

Después de realizar todas sus opciones, en el submenú 1, entre a estas selecciones pulsando el botón menú, y momentáneamente destella stored en la pantalla. Si el elemento seleccionado en el submenú 1 tiene un submenú 2 asociado a el, pulse el botón min para ir al submenú 2. Seleccione la opción pulsando max y escriba su selección pulsando el botón menú. Al presionar una vez el botón reset trae de nuevo al menú anterior y, al pulsarlo por segunda vez que vuelve al modo ejecución.

Continúe con el diagrama de flujo por debajo e ingrese los valores que figuran en las columnas del submenú 1 y 2.

Después de todos esos pasos anteriores la unidad ahora está completamente calibrada. Si durante la verificación de la calibración, la pantalla no es correcta, puede utilizar la función de desplazamiento RDG OFF si todo los valores de lectura son altos o bajos o realizar la calibración de nuevo.

8. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDACTICO



8.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Durante la fabricación del banco didáctico para pruebas se utilizaron los materiales mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 7. Materiales utilizados en la construcción y montaje del banco didáctico.

Materiales	Cantidad
Perfiles tipo C o U (4in)	6 m
Resorte	2
Soldadura 70-18, 1/8	1 Kg
Gato Hidraulico 10 Tons	1
Bomba hidraulica	1
Manometro (10000 psi)	1

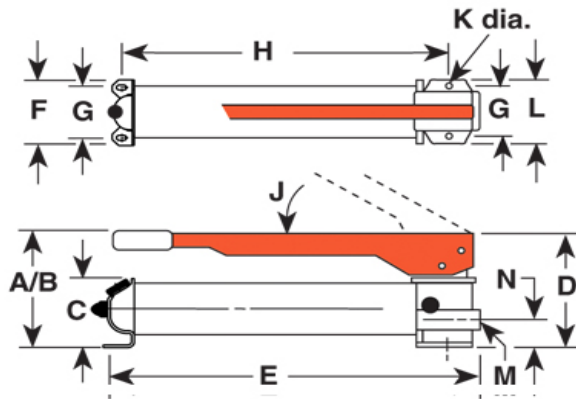
8.1.1 Gato hidráulico (PTPHB-210).

El funcionamiento del gato hidráulico responde al principio de pascal que establece que la presión en un contenedor cerrado es siempre la misma en todos sus puntos.

Se le da el nombre de gato “hidráulico” por la utilización de un líquido, generalmente un aceite, para ejercer presión sobre un cilindro que empujará a otro de diferente tamaño para lograr la elevación del brazo. Cuando el fluido, que en este caso es un aceite, es impulsado hacia un cilindro por acción de una bomba, se somete a una fuerza como la presión. Para ejercer la presión se “inyecta” aire al aceite para desplazarlo y el cilindro de menor tamaño empujará al de mayor tamaño. Así, la presión ejercida sobre el primero será igual en el segundo, con la diferencia de que el mayor tamaño de éste logrará un incremento de la fuerza para que el brazo lleve a cabo la elevación.

El gato que se utiliza para las pruebas de flexión es un gato de la marca POWER TEAM con dimensiones dadas por el fabricante (Ver figura 7 y tabla 8).

Tabla 8. Dimensiones de la bomba.



Fuente: <http://www.spx.com/en/power-team/pd-p-manual-1-speed/>

Tabla 9. Dimensiones del fabricante

Order No.	A (in.)	B (in.)	C (in.)	D (in.)	E (in.)	F (in.)	G (in.)	H (in.)	J (deg.)	K (in.)	L (in.)	M (in.)	N (in.)	P (in.)
P19	5 1/2	14 5/8	2 7/8	4 9/16	1 311/16	4	3 1/4	11 1/16	53°	5/16	4	3/8 NPTF	1 13/32	—
P59	7	21	3 1/2	5	23	4 1/4	3 1/4	19 3/4	38°	5/16	4 3/4	3/8 NPTF	1 5/8	—
P59F	3 1/2	16 3/4	3 1/2	6	23 1/4	4 1/4	3 1/4	20 1/4	—	5/16	4 1/2	3/8 NPTF	11 11/16	—

Fuente: <http://www.spx.com/en/power-team/pd-p-manual-2-speed/>

Las especificaciones del fabricante para este tipo de gato (PTPHB-210) las da según la capacidad del gato, el número de pieza del cilindro y el número de garras que para nuestro gato en particular son 10 toneladas o 89 KN, C106C y 2 respectivamente¹¹.

8.1.2 Perfil tipo C o tipo U.

El perfil estructural en “U” de hierro formado en frío, es un producto tradicional de los sistemas constructivos de hoy, su diseño permite la fabricación de estructuras

¹¹SPX. [en Línea] Recuperado enero 19 de 2015 en: <http://www.spx.com/en/power-team/pd-hydraulic-pullers-bundle-ptphb-series-5-50-ton/>

para soporte de cargas moderadas y luces cortas, es un elemento constructivo liviano y fácil de instalar. Antes de realizar la compra del material principal del banco didáctico de pruebas se investigó las diferentes combinaciones de perfiles que el mercado ofrece aunque las designaciones que mostraban los catálogos de productos de las empresas eran la opción más adecuada para evitar un sobre costo del banco se seleccionó un perfil similar al que se había escogido en el catálogo que mostraba la empresa Perfiles y Vigas. S.A.S, el perfil se seleccionó de hierro negro debido a que no se iba a superar el límite de fluencia del material ($\sigma_{max} = 351 \text{ MPa}$). En las siguientes tablas se muestran las propiedades mecánicas y las dimensiones del perfil seleccionado (C4x5.4).

Tabla 10. Dimensiones del perfil.

PERFIL C ESTAND								
PERFILES CE	Dimensiones							
	ALTURA		DIMENSIONES ALA		DISTANCIAS			
	DESIGNACION	h	s	b	t	r1	r2	d
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
C 3 X 4.1	76.20	4.30	35.80	6.90	6.90	2.50	44.00	
C 3 X 5	76.20	6.50	38.00	6.90	6.90	2.50	45.60	
C 3 X 6	76.20	6.50	38.00	6.90	6.90	2.50	45.60	
C 4 X 5.4	101.60	4.60	40.10	7.50	7.10	2.80	68.80	
C 4 X 7.25	101.60	8.10	43.70	7.50	7.10	2.80	68.80	

Fuente: <http://www.perfilesyvigas.com/images/stories/pdf/perfilu.pdf>

Tabla 11. Propiedades elásticas.

PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						CONS TORS
	EJE X-X			EJE Y-Y			
	Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry	
kg/mt	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	Jt
6.10	66.40	18.00	2.97	8.32	3.44	1.04	1.12
7.44	74.90	19.70	2.84	10.40	3.93	1.04	1.79
8.93	87.40	22.90	2.74	12.90	4.42	1.07	3.04
8.04	158.00	31.10	3.96	13.30	4.75	1.14	1.66

Fuente: <http://www.perfilesyvigas.com/images/stories/pdf/perfilu.pdf>

8.2 DISEÑO PRELIMINAR

Para lograr una mejor visión sobre los elementos del banco didáctico de pruebas se decide modelar cada componente del banco utilizando herramientas CAD (SolidWorks) y realizar el ensamblaje del mismo para evitar futuros problemas durante la construcción real del banco. (Ver figuras 37 y 38)

Figura 37. Ensamblaje en SolidWorks.

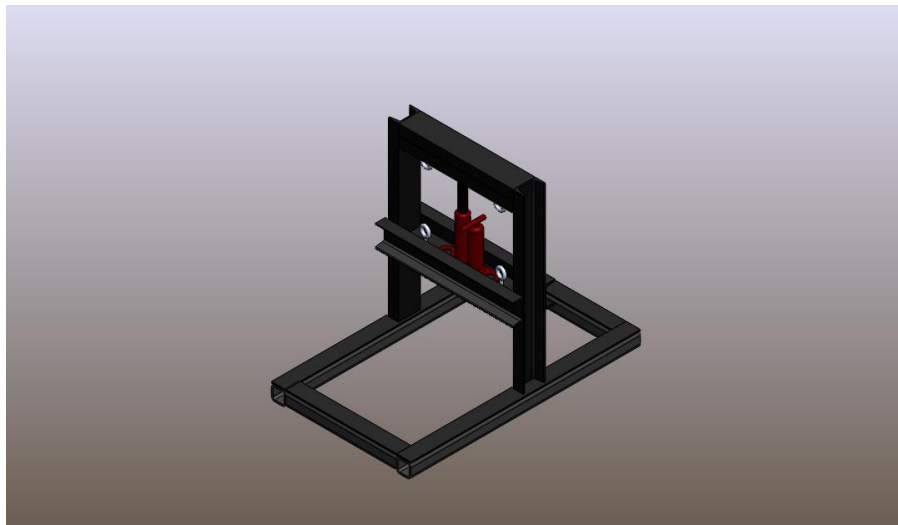
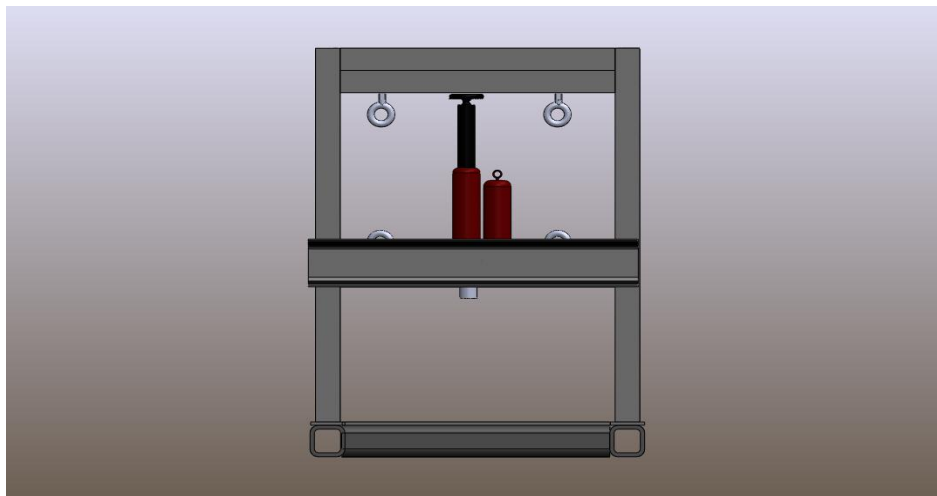


Figura 38. Ensamblaje en SolidWorks vista Isométrica.



9. MODELOS

9.1 MODELO ANALÍTICO

Inicialmente se realizara un cálculo de las deformaciones de manera analítica y luego se procederá a hacer una medición experimental, de esta manera se comprobará efectivamente si los valores obtenidos experimentalmente son posibles (se encuentran dentro de un rango aceptable).

De no llegar a ser validos sería necesario buscar algún fallo en el modelo y probablemente este se encuentre en una mala colocación o manipulación de las galgas extensiométricas debido a su alto grado de sensibilidad así como el equipo de medición.

9.1.1 Cálculo analítico de las deformaciones.

Se utilizaran las presiones obtenidas mediante el ensayo experimental:

$$P1 = 3.44MPa$$

$$P2 = 6.89MPa$$

$$P3 = 10.34MPa$$

$$P4 = 13.79MPa$$

$$P5 = 17.23MPa$$

Por medio de la siguiente ecuación podemos definir la fuerza aplicada a la probeta durante el ensayo de flexión y teniendo en cuenta que $A_{punzon} = 0,025m^2$.

Ecuación 21. Fuerza aplicada.

$$F = P.A \quad (21)$$

Tenemos,

$$F1 = 86.187,5 N$$

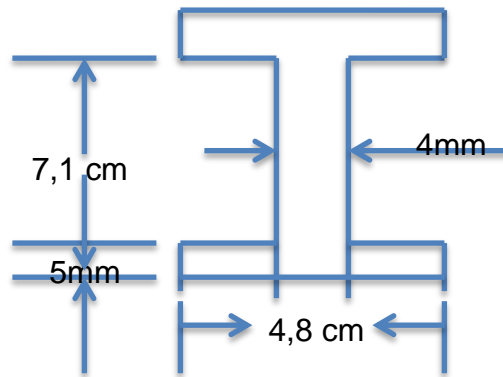
$$F2 = 172.375 \text{ N}$$

$$F3 = 258.562,5 \text{ N}$$

$$F4 = 344.750 \text{ N}$$

$$F5 = 430.937,5 \text{ N}$$

Se dispone a hallar el momento de inercia de la sección transversal de la probeta utilizada:



Aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 22. Momento de inercia de la sección transversal

$$I = \sum(I + Ad^2) \quad (22)$$

Tenemos,

$$I_x = 8,13 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Se dispone a hallar el momento máximo presente en la probeta durante la aplicación de las 5 fuerzas anteriormente nombradas, este momento máximo se halla utilizando un programa de resistencia de materiales (MdSolid) que usa el método gráfico de momento flector y fuerza cortante.

F1) Se halla el Mmax utilizando Md Solid (ver figura 39)

$$M_{max} = 21.512,4 \text{ N.m}$$

Aplicando la ecuación:

Ecuación 23. Esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad (23)$$

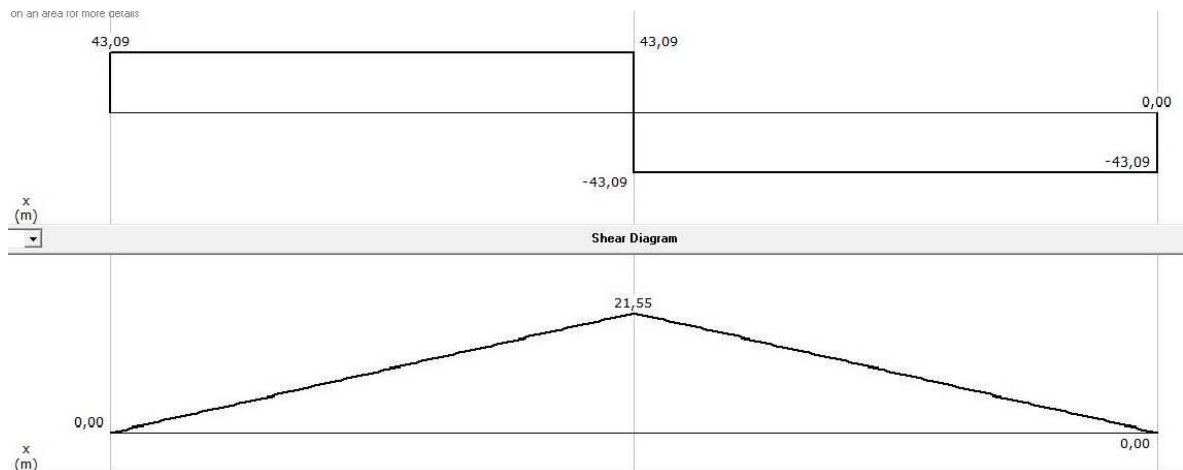
$$\sigma_{max} = 10,71MPa$$

Como se necesita es la deformación y no el esfuerzo máximo se debe aplicar la siguiente ecuación:

Ecuación 24. Deformación

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{max}}{E} \quad (24)$$

Figura 39. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 1.



Teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad (E) del material es 190GPa y aplicando la ecuación 24, tenemos que $\varepsilon = 0,00005640268$

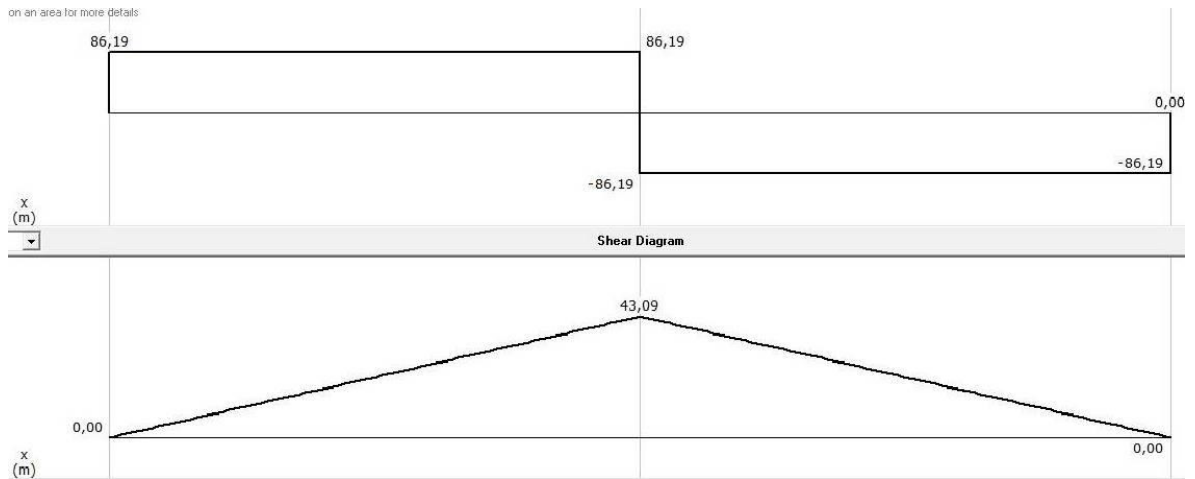
F2) Se halla el M_{max} utilizando *Md Solid*. (ver figura 40)

$$M_{max} = 43.024,8 N.m$$

Usando la ecuación 23 (Esfuerzo máximo).

$$\sigma_{max} = 21,43MPa$$

Figura 40. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 2.



Usando la ecuación 24 y sabiendo que $E = 190GPa$, $\varepsilon = 0,00011280536$

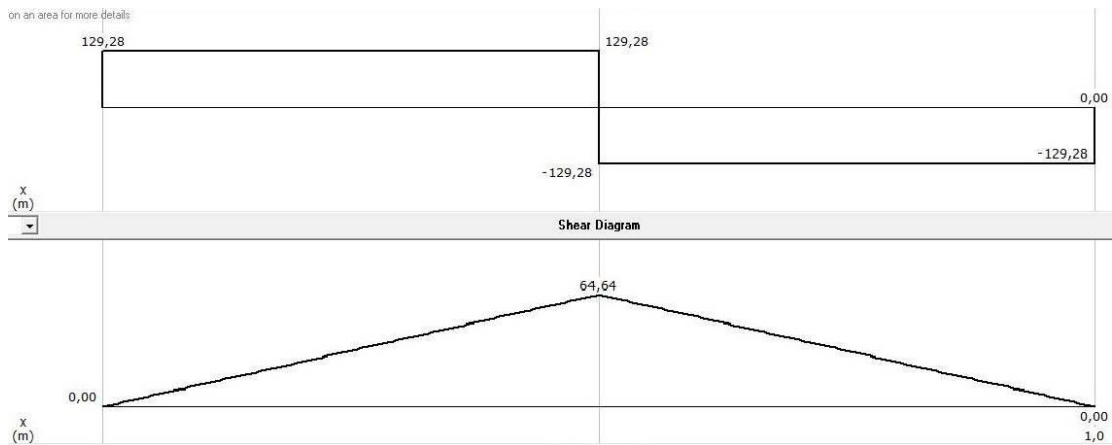
F3) Se halla el M_{max} utilizando M_d Solid. (Ver figura 41)

$$M_{max} = 64.537,2 \text{ N.m}$$

Usando la ecuación 23 (Esfuerzo máximo)

$$\sigma_{max} = 32,14MPa$$

Figura 41. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 3.



Usando la ecuación 24 y sabiendo que $E = 190GPa$, $\varepsilon = 0,00016920804$

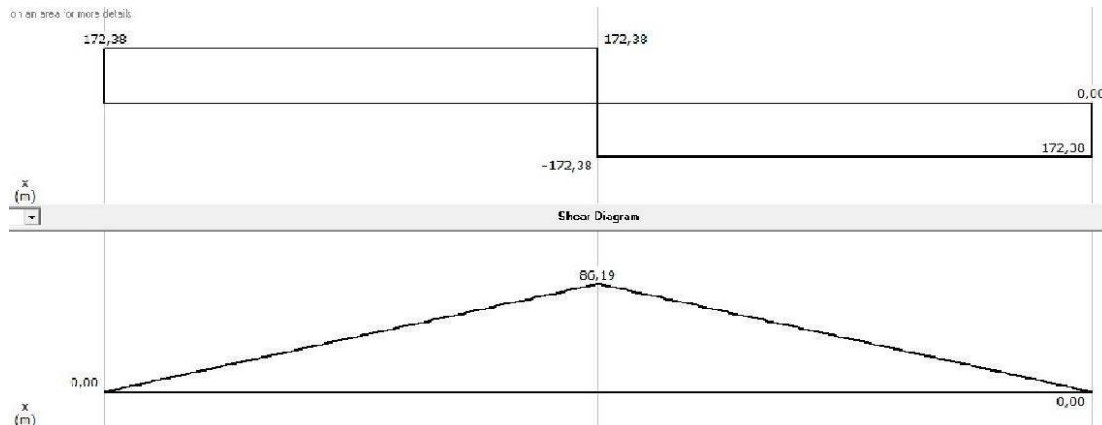
F4) Se halla el M_{max} utilizando M_d Solid. (Ver figura 42)

$$M_{max} = 86.049,6 \text{ N.m}$$

Usando la ecuación 23 (Esfuerzo máximo)

$$\sigma_{max} = 42,86 \text{ MPa}$$

Figura 42. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 4.

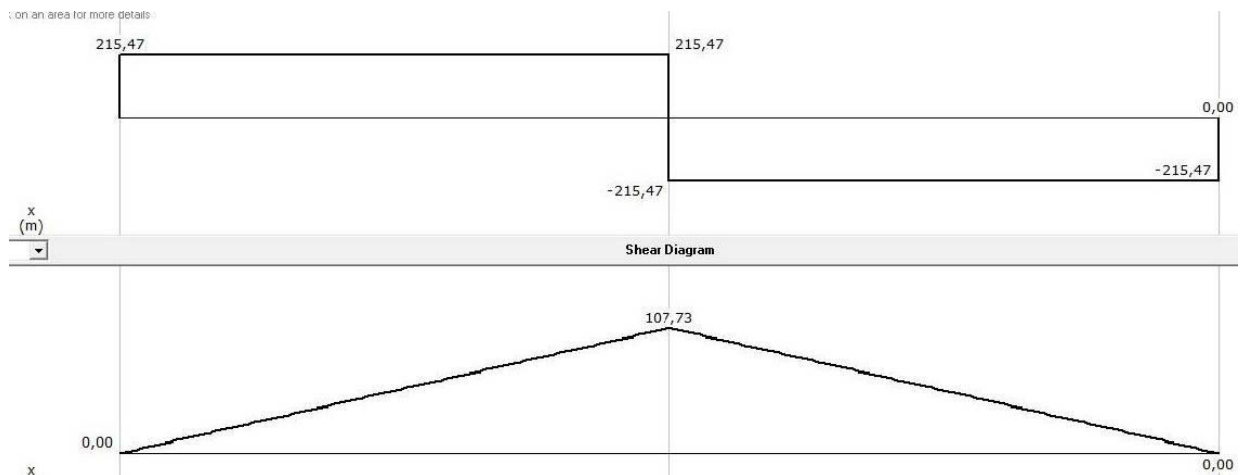


Usando la ecuación 24 y sabiendo que $E = 190 \text{ GPa}$, $\epsilon = 0,00022561072$

F5) Se halla el M_{max} utilizando $M_d \text{ Solid}$. (Ver figura 43)

$$M_{max} = 107.562 \text{ N.m}$$

Figura 43. Diagrama de momentos y fuerzas cortantes para la fuerza 5.



Usando la ecuación 24 y sabiendo que $E = 190 \text{ GPa}$, $\epsilon = 0,0002820134$

Para una analizar si los valores teóricos se encuentran dentro del mismo rango que los valores experimentales se convierten los valores de la deformación a valores de voltaje por medio de la ecuación 25.

Ecuación 25. Voltaje en relación de la deformación para $\frac{1}{4}$ de puente.

$$V_{vd} = \frac{\epsilon \cdot K \cdot V_{ac}}{4} \quad (25)$$

tenemos,

$$V1 = 0,000296 \text{ V}$$

$$V2 = 0,000592 \text{ V}$$

$$V3 = 0,0008834 \text{ V}$$

$$V4 = 0,0011844 \text{ V}$$

$$V5 = 0,0014805 \text{ V}$$

9.2 MODELO EXPERIMENTAL

Continuando con el análisis ahora se presentan las incógnitas que se tuvieron en cuenta durante las pruebas experimentales.

9.2.1 Presión.

Los valores de presión que se presentan son los valores que se tomaron por medio del manómetro conectado del gato hidráulico asegurando que la medición sea la más adecuada. (Ver tabla 12)

Tabla 12. Valores de presión.

Presión	
[psi]	[Pa]
500	3,44x [(10)] ^6
1000	6,89x [(10)] ^6
1500	10,34x [(10)] ^6
2000	13,79x [(10)] ^6
2500	17,23x [(10)] ^6

9.2.2 Fuerza.

Usando la ecuación 21 y sabiendo el área de contacto (*Apunzon*) podemos tener los valores de fuerza correspondientes a cada valor de presión.

$$F1 = 86.187.5 \text{ N}$$

$$F2 = 172.375 \text{ N}$$

$$F3 = 258.562,5 \text{ N}$$

$$F4 = 344.750 \text{ N}$$

$$F5 = 430.937,5 \text{ N}$$

9.2.3 Voltaje.

Los valores de voltaje que se muestran son los valores de voltaje de salida o el voltaje que arroja el equipo de medición. (Explicado con claridad en el capítulo 7).

$$V1 = 0,0219 \text{ V}$$

$$V2 = 0,02235 \text{ V}$$

$$V3 = 0,0232 \text{ V}$$

$$V4 = 0,02445 \text{ V}$$

$$V5 = 0,02478 \text{ V}$$

9.2.4 Deformación.

Teniendo el factor de galga (*K*), el voltaje de alimentación, que para nuestro caso es de 10 V (voltaje que entrega el equipo Dp 41-b) y la señal de voltaje dada anteriormente podemos calcular la deformación experimental en la probeta.

Usando la ecuación 25, tenemos para cada valor de voltaje que entrega el equipo un valor de deformación experimental:

$$\epsilon_{exp1} = 0,0041714286$$

$$\epsilon_{exp2} = 0,0042571429$$

$$\epsilon_{exp3} = 0,0044190476$$

$$\epsilon_{exp4} = 0,0046571429$$

$$\epsilon_{exp5} = 0,00472$$

9.3 TABLAS DE RESULTADOS

Las siguientes tablas son los resultados obtenidos en las pruebas, teniendo en cuenta la posición de la galga estando en estado de compresión y tensión.

Tabla 13. Datos analíticos.

Datos Teóricos				
# Pruebas	Fuerza	Inercia(m ⁴)	Esfuerzo(σ)(MPa)	Deformación (ϵ)
0	0	8.13x10 ⁻⁴	0	0
1	86187.5	8.13x10 ⁻⁴	10.71	0.00005640268
2	172375	8.13x10 ⁻⁴	21.43	0.00011280536
3	258562.5	8.13x10 ⁻⁴	32.14	0.00016920804
4	344750	8.13x10 ⁻⁴	42.86	0.00022561072
5	430937.5	8.13x10 ⁻⁴	430937.5	0.0002820134

Fuente: Los autores

Tabla 14. Resultados de compresión experimental

Resultados de compresión experimental			
# Pruebas	Presión(MPa)	Fuerza(N)	Deformación ε
1	3.44×10^6	86187.5	0.0041714286
2	6.895×10^6	172375	0.0042571429
3	10.342×10^6	258562.5	0.0044190476
4	13.79×10^6	344750	0.0046571429
5	17.237×10^6	430937.5	0.00472

Fuente: Los autores

Tabla 15. Resultados de tensión experimental

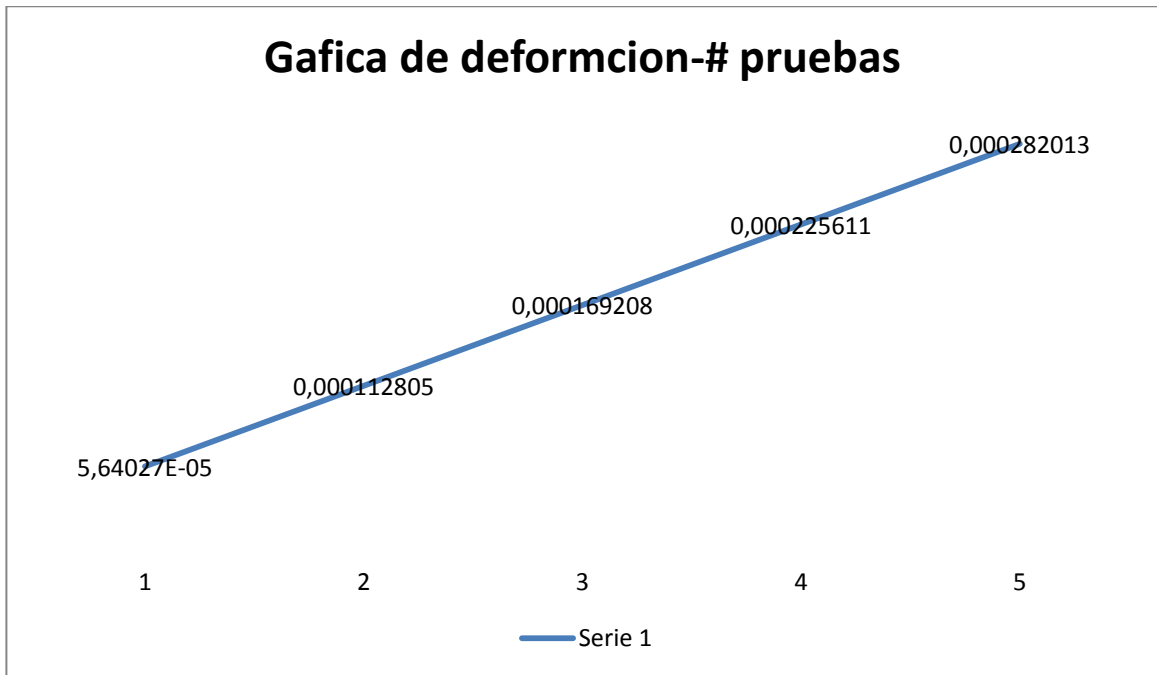
Resultados de tensión experimental			
# Pruebas	Presión(MPa)	Fuerza(N)	Deformación ε
1	3.44×10^6	86187.5	0.004380952381
2	6.895×10^6	172375	0.004158095238
3	10.342×10^6	258562.5	0.004895238095
4	13.79×10^6	344750	0.003811809524
5	17.237×10^6	430937.5	0.00376952381

Fuente: Los autores

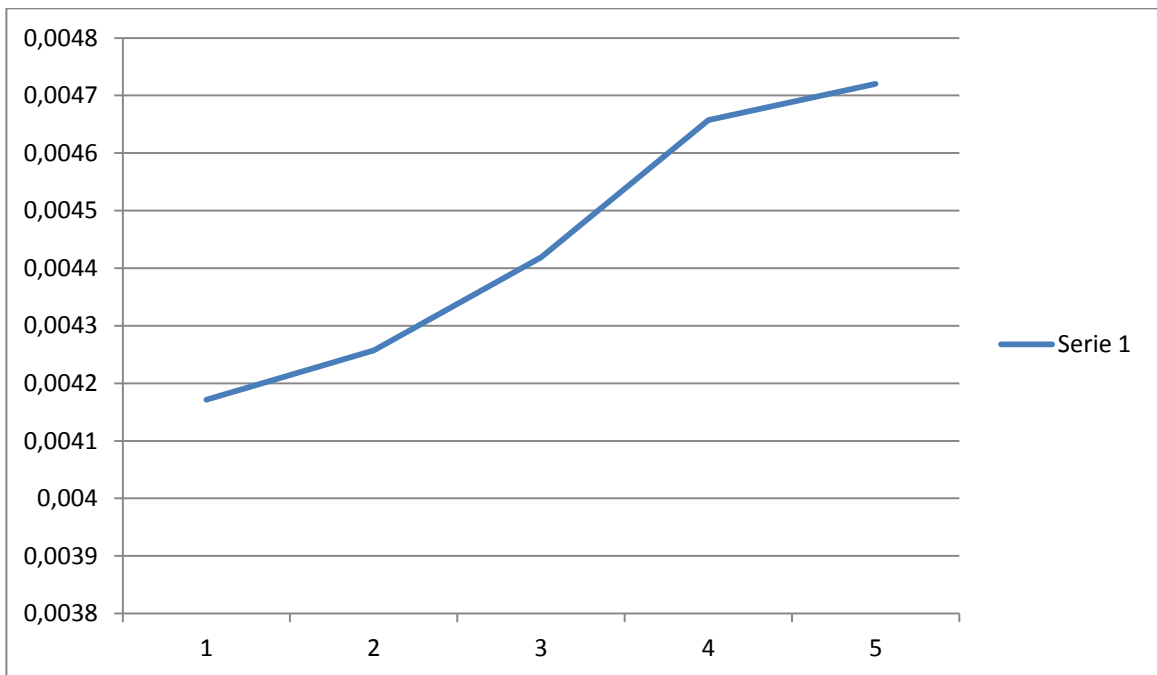
Tabla 16. Señales en voltios y ganancia

Señales				
# de pruebas	Voltios experimentales	Voltios teóricos	Ganancia	(ganancia)(voltios teóricos)
1	0.0219	0.2961	0.03506	0.0103
2	0.02235	0.5922	0.03506	0.0207
3	0.0232	0.8883	0.03506	0.0311
4	0.02445	1.1844	0.03506	0.0415
5	0.02478	1.4805	0.03506	0.0519

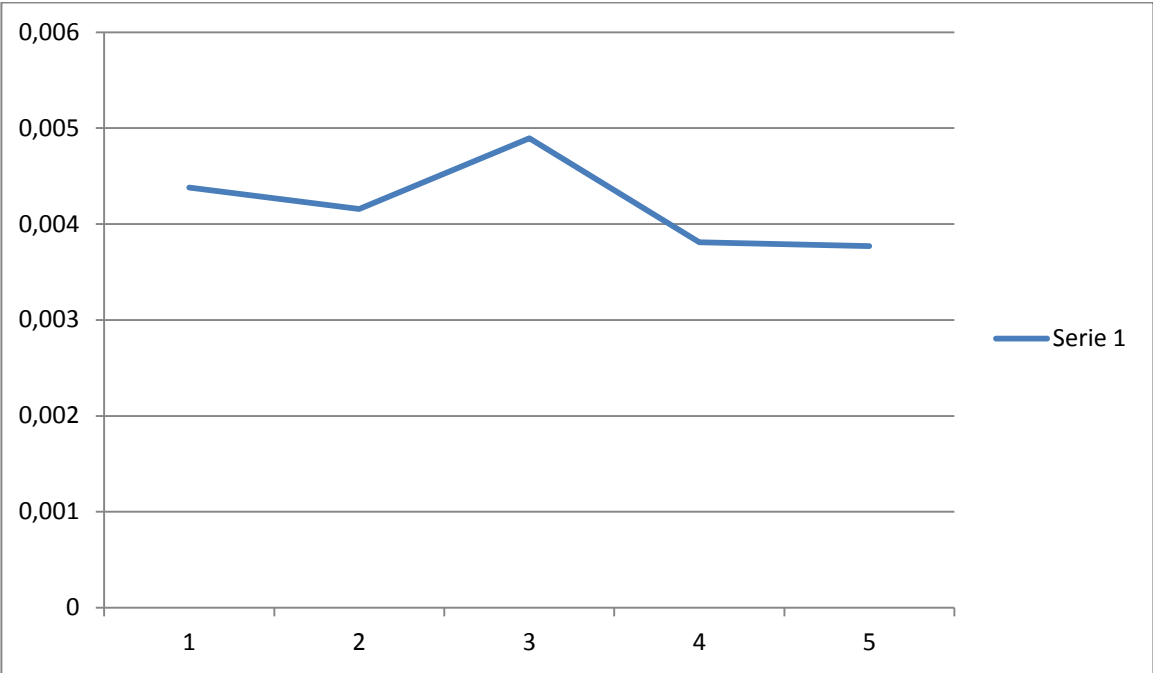
Grafica 1. Curva de deformación vs # pruebas Teóricas



Grafica 2. Deformación vs # pruebas a compresión



Grafica 3. Deformación vs # pruebas a compresión



10. CONCLUSIONES

Se estructuro de forma detallada una guía sobre el uso del equipo de medición DP-41B de la marca omega, donde se habla de sus partes internas y configuración de interfaz, como también los pasos para lograr un pegado de las galgas extensiométricas.

Se desarrolló un diseño en CAD preliminar donde se podía visualizar la forma final con sus respectivas medidas en planos.

Con la construcción de esta máquina es posible realizar pruebas de flexión en vigas tipo I aplicando presiones altas y lograr hacer mediciones de deformaciones y esfuerzos.

Se generaron las diferentes curvas de correlación entre los datos experimentales y teóricos y lograr una diferencia entre los datos.

En nuestros datos pudimos analizar que a pesar de que los valores experimentales son similares a los teóricos nos dan %error muy grande esto nos conduce a pensar que por alguna razón las galgas para medir la diferencia de potencial en fuerza estaban mal colocadas de manera que no hicieran un buen contacto con la probeta, o dañadas, ya que se ha explicado anteriormente estas galgas son muy sensibles.

11. RECOMENDACIONES

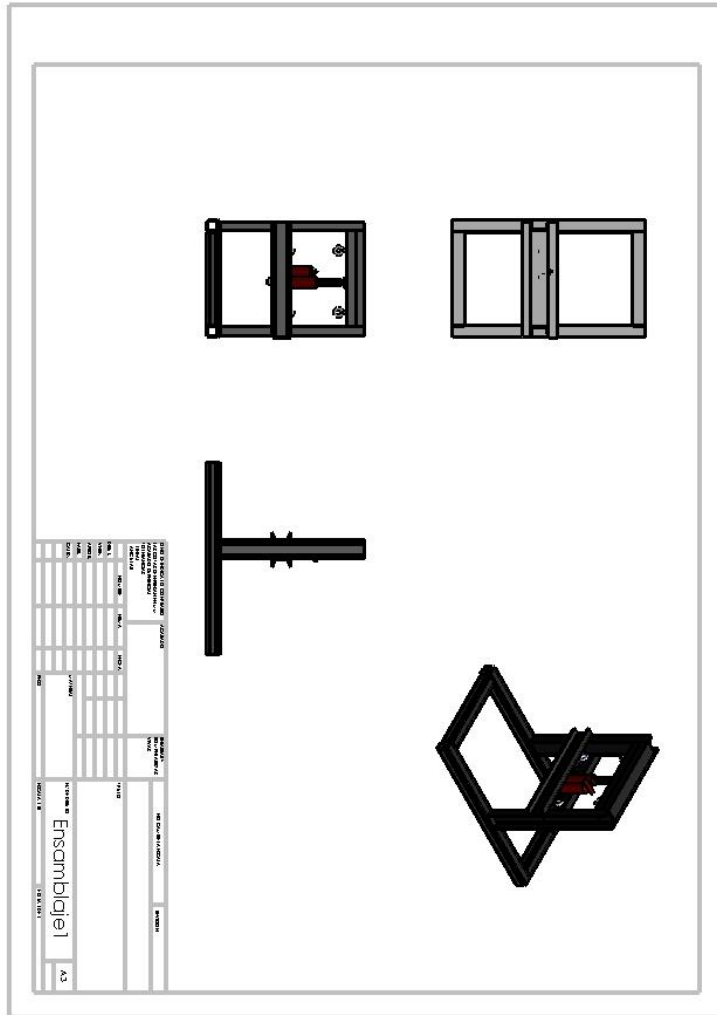
- Tener presente el cuidado extremo en el pegado de las galgas extensiométricas ya que el mínimo error puede presentar grandes resultados erróneos y lograr que la relación entre los datos teóricos y los experimentales se alejen entre ellos.
- Al usar el banco para realizar ensayos de deformación tener en cuenta que el punzón este en el centro de la viga a analizar y observar que este no toque la galga adherida a la probeta.
- Al usar la máquina para ejercer fuerza tener presente que la presión máxima es de 2000 psi con lo cual es suficiente para realizar mediciones.

BIBLIOGRAFIA

- Esfuerzo, flexión y torsión. [en Línea] Recuperado enero 16 de 2015 en: <http://es.slideshare.net/enmanuelacaro/presentacion-enmanuela>.
- Prácticas de instrumentación electrónica: Un enfoque desde la didáctica hasta la aplicación industrial. [en Línea] Recuperado enero 18 de 2015 en: <http://www.epsevg.upc.edu/xic/ponencias/R0220.pdf>.
- Omega. Galgas Extensiométricas. [en Línea] Recuperado enero 20 de 2015 en: <http://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiometricas.html> [citado el 20 de enero de 2015]
- Omega. Guía de usuario PDF Medidor universal dp41 – b [en Línea] Recuperado enero 15 de 2015 en: <http://www.omega.com/Manuals/index.html?s=all>.
- R.C Hibbeler. Mecánica de materiales sexta edición, Capítulo 6. Pearson Educación. 2006.
- Resistencia de materiales, 3ra edición. [en Línea] Recuperado enero 17 de 2015 en: <http://es.slideshare.net/vladitac/resistencia-de-materiales-aplicada-robert-mott-3ra-edicion>.
- SPX. [en Línea] Recuperado enero 19 de 2015 en: <http://www.spx.com/en/power-team/pd-hydraulic-pullers-bundle-ptphb-series-5-50-ton/>

ANEXOS

Anexo A. Plano



Anexo B. Fotos Banco Didactico







Anexo C. Escala de Deformación

